



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

EKONOMICKÝ NÁVRH VYSOKOTLAKÉHO PLYNOVODU

COST-EFFICIENT DESIGN OF HIGH PRESSURE GAS PIPELINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Šrámková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Létal, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Studentka: **Veronika Šrámková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Létal, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Ekonomický návrh vysokotlakého plynovodu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Plynovody tvoří nedílnou součást dopravní infrastruktury. Oproti jiným způsobům mohou vyžadovat větší investiční náklady, výhodou jsou pak nižší náklady na provoz a údržbu. Jak investiční, tak i provozní náklady jsou významně ovlivněny volbou materiálu, průměru a způsobu uložení plynovodu. Práce je zaměřena na ekonomický návrh základních parametrů plynovodu s ohledem na platné předpisy a uznávané normy.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s normami a požadavky na plynovody.
Seznámit se s určováním investičních a provozních nákladů.
Vytvořit postup pro návrh základních parametrů.
Demonstrovat funkčnost postupu na konkrétním zadání.

Seznam doporučené literatury:

HRIVIK, Peter. STN EN 1594: 2014 (38 6435), Plynárenská infrastruktúra. Plynovody Na Maximálny Prevádzkový Tlak Nad 16 Barov. Požiadavky Na Prevádzku. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, 2014.

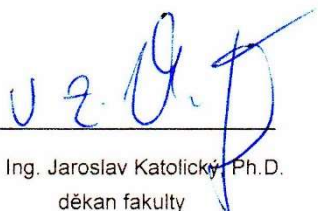
Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014: on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment. In: . Brusel, 2014, ročník 57, L 189.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 22. 10. 2018



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce bol ekonomický návrh vysokotlakého plynovodu s maximálnou kapacitou 40 mil.Nm³/d a dĺžkou 100 km. Ekonomický návrh pozostával z analýzy a porovnania nákladov na výstavbu a prevádzku pre tri rôzne priemery plynovodov za dobu prevádzky 20 rokov. Práca obsahuje návrh rozmerov rúr, kde podľa noriem STN EN 1594:2014 a ISO 4200:2010 boli navrhnuté hrúbky stien potrubí. Pre zistenie tlakových strát a počtu potrebných kompresorových staníc bol použitý software Simone, ktorý zároveň dopočítal aj potrebný výkon kompresorových staníc a spotrebu palivového plynu. Na základe potrebného výkonu boli následne zvolené ekonomicky najvýhodnejšie kompresory s plynovou turbínou pre každú kompresorovú stanicu. Tieto kompresory spolu s nákladmi za výstavbu plynovodu tvorili investičné náklady, ku ktorým boli pripočítané náklady za dobu prevádzky 20 rokov. V závere práce sú porovnané náklady pre všetky 3 varianty. Na základe tohto porovnania je možné konštatovať, že ekonomicky najvýhodnejší variant výstavby pre zadané vstupné podmienky je plynovod s priemerom DN1000.

Kľúčové slová

zemný plyn, plynovod, kompresorová stanica, investičné náklady, prevádzkové náklady

ABSTRACT

The aim of this thesis was the cost-efficient design of high pressure gas pipeline with a maximum capacity 40 mil.Nm³/day and a length of the pipeline 100 km. The economic design consisted of analyzing and comparing expenses for three different pipelines over a 20-year period. The thesis includes the design of pipe dimensions with proposed thickness of pipe walls according to STN EN 1594: 2014 and ISO 4200: 2010. Software Simone was used in order to determine the pressure loss and the number of compressor stations. Software calculated the necessary power of compressor stations and fuel gas consumption as well. Based on the necessary power, the most economically advantageous gas turbine compressors were chosen for each compressor station. The capital expenditures consisted of the price for compressor stations together with gas pipelines. The operating expenditures for 20 years were added to these costs. In conclusion of the thesis, a comparison of expenditures for all 3 variants was conducted. Based on the results, it can be stated that the most economically advantageous variant of the construction is a gas pipeline with a diameter DN1000.

Keywords

natural gas, pipeline, compressor station, capital expenditures, operational expenditures

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŠRÁMKOVÁ, Veronika. Ekonomický návrh vysokotlakého plynovodu. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116690>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Tomáš Létal.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že bakalársku prácu na tému Ekonomický návrh vysokotlakého plynovodu som vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Dátum

Podpis

POĎAKOVANIE

Rada by som sa poďakovala vedúcemu práce Ing. Tomáši Létalovi, Ph.D. za cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní mojej bakalárskej práce. Ďakujem aj spoločnosti eustream, a.s., predovšetkým Ing. Tomášovi Matulovi za odborné rady a skúsenosti z praxe.

Obsah

ÚVOD.....	10
1 Zemný plyn.....	11
1.1 Zloženie zemného plynu.....	11
1.2 Ťažba a využitie zemného plynu	11
2 Preprava zemného plynu	12
2.1 Plynovody	12
2.1.1 Rozdelenie plynovodov.....	12
2.1.2 Požiadavky na plynovody	13
2.2 Prepravná sieť	13
2.2.1 Plynovodné úseky	13
2.2.2 Kompresorová stanica.....	13
2.2.3 Meracia stanica.....	14
2.2.4 Trasový uzáver (TU)	15
3 Prúdenie plynu v potrubí	15
3.1 Reynoldsovo číslo.....	15
3.2 Charakter prúdenia.....	16
3.3 Súčiniteľ dĺžkových tlakových strát	16
3.4 Stlačiteľnosť.....	18
3.5 Viskozita plynu	18
3.6 Vedenie tepla	19
3.7 Výpočet tlakového spádu.....	20
4 Výpočtová časť.....	22
4.1 Zadanie.....	22
4.2 Voľba materiálu	22
4.3 Výpočet hrúbky steny potrubia.....	23
4.4 Hydraulická analýza	24
4.4.1 Vytvorenie modelu siete v SW Simone	24
4.4.2 Výpočet	24
4.4.3 Analýza výsledkov	25
4.4.4 Výber kompresorov.....	27
4.5 Analýza nákladov	29
4.5.1 Investičné náklady (CAPEX).....	29
4.5.2 Prevádzkové náklady (OPEX)	32
4.5.3 Ekonomické hodnotenie a porovnanie skúmaných variantov.....	32
4.5.4 Citlivostná analýza	34
4.6 Možnosti pokračovania práce	35
ZÁVER.....	36
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	37
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	39
ZOZNAM OBRÁZKOV.....	41
ZOZNAM TABULIEK	42
ZOZNAM PRÍLOH.....	43

ÚVOD

Zemný plyn je jedna zo základných energetických surovín využívaných v priemysle a v domácnostiach. Keďže miesta jeho výskytu a ťažby sú od spotrebiteľov vzdialené aj tisíce kilometrov, je nutné prepravovať veľké objemy zemného plynu na veľké vzdialenosti. Jedným z možných spôsobov prepravy zemného plynu je jeho preprava prostredníctvom plynovodov, ktorými sa zaoberá aj táto práca.

Prvé kapitoly práce sú venované zemnému plynu, jeho preprave a charakteristike prepravnej siete, ktorá je okrem samotných rúr tvorená aj prvkami ako sú trasové uzávery, kompresorové, či meracie stanice. Pre návrh plynovodu je nevyhnutné taktiež porozumieť prúdeniu plynu, jeho správaniu sa v potrubí a tlakovým stratám, ku ktorým pri prúdení dochádza. Tieto straty sú vo veľkej miere ovplyvnené priemerom potrubia, kedy pri menších priemeroch dochádza k väčším stratám a naopak.

Druhá časť práce je venovaná samotnému návrhu plynovodu, pri ktorom sú uplatnené získané teoretické poznatky. Keďže výstavba prepravnej siete je ekonomicky veľmi náročná, hlavným cieľom tejto časti práce bolo navrhnúť ekonomicky najvýhodnejší plynovod na prepravu zemného plynu. V práci sú analyzované ako investičné náklady (výstavba potrubia a kompresorových staníc), tak aj prevádzkové náklady za dobu prevádzky 20 rokov. V závere práce je ekonomické porovnanie 3 variantov plynovodov s rôznymi priermi a návrh najvýhodnejšieho variantu.

1 Zemný plyn

1.1 Zloženie zemného plynu

Zemný plyn je zmes plyných uhľovodíkov, z ktorých hlavnú zložku tvorí metán – CH_4 (vyše 90 %). Okrem metánu obsahuje aj propán, bután a ďalšie látky. Výsledné zloženie zemného plynu závisí najmä od miesta jeho výskytu, preto sa po celom svete líši. Je to bezfarebný plyn, bez chuti a zápachu. Pre ľahšiu identifikáciu úniku plynu do vzduchu sa pri úprave odorizuje v distribučných sieťach – pridáva sa zápachová látka [1].

Podľa zloženia vieme zemný plyn rozdeliť na 4 základné druhy. Suchý (chudý) zemný plyn obsahuje vysoké percento metánu (95 – 98 %) a len nepatrné množstvo vyšších uhľovodíkov. Vlhký (bohatý) zemný plyn obsahuje okrem metánu vyšší podiel uhľovodíkov. Kyslý zemný plyn obsahuje veľké množstvo sulfanu H_2S , ktorý sa však z plynu musí odstrániť z dôvodu korózných účinkov v spojení s voľnou vodou. Posledným druhom je zemný plyn s vyšším obsahom inertných plynov, hlavne dusíka a oxidu uhličitého [1], [2].

Vzhľadom k tomu, že v práci bude navrhovaný plynovod, je nevyhnutné poznať zloženie plynu, ktorý bude tento plynovod prepravovať. Zloženie je uvedené v Tabuľke 1. Toto zloženie je typické pre zemný plyn ťažený na území Ruska.

Tabuľka 1: Zloženie zemného plynu

Zložka	%molu
Metán	95,322
Etán	2,522
Propán	0,76
izo – Bután	0,114
n – Bután	0,121
izo – Pentán	0,024
n – Pentán	0,018
Hexán	0,018
Oxid uhličitý	0,344
Dusík	0,757

1.2 Ťažba a využitie zemného plynu

Zemný plyn vzniká postupným rozkladom organickej hmoty ako dôsledok biochemických a geochemických reakcií pri vzniku uhlia alebo ropy. Pri rozklade sa uvoľňovaný plyn zachytával na nepriepustných vrstvách horniny a vznikali podzemné ložiská, z ktorých sa dnes ťaží.

Slovensko nemá veľké vlastné zásoby zemného plynu, preto sa sem zemný plyn väčšinou dováža zo vzdialenejších nálezísk (aj viac než 4000 km). Väčšina spotrebúvaného plynu na Slovensku pochádza z Ruska, ktoré patrí medzi najväčších producentov plynu. Domáca ťažba predstavuje asi 1,8 % celkovej spotreby na Slovensku.

Zemný plyn sa môže prepravovať buď v plynnom stave (zemný plyn) alebo v kvapalnom stave (CNG, LNG). CNG (Compressed Natural Gas) je plyn stlačený pri tlaku 200 barov, LNG (Liquified Natural Gas) je skvapalnený plyn pri teplote $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. V dnešnej dobe sa používa

najmä ako palivo na vykurovanie, varenie, ohrev vody a v doprave ako pohon motorových vozidiel [3].

2 Preprava zemného plynu

Na začiatku prepravného reťazca, kedy je potrebné prepravovať veľké objemy zemného plynu na veľké vzdialenosti, sa zemný plyn najčastejšie prepravuje dvomi základnými spôsobmi a to plynovodmi alebo v tankeroch vo forme skvapalneného plynu. Keďže v práci bude navrhovaný plynovod, ďalej sa budem venovať tomuto spôsobu prepravy.

2.1 Plynovody

Plynovodom rozumieme sústavu potrubí, ktorou prepravujeme zemný plyn z miesta ťažby na miesto spotreby. Ako v minulosti rástla spotreba zemného plynu, ložiská v blízkosti veľkých miest boli postupne vyťažené a tak bolo potrebné zemný plyn prepravovať stále na väčšie vzdialenosti a vo väčších objemoch. Tieto skutočnosti si vyžadovali používanie stále vyššieho tlaku, preto najnovšie plynovody dosahujú prevádzkové tlaky až 100 barov (onshore) resp. 200 barov (offshore). Diaľkové plynovody sú vedené nielen po súši, ale aj po morskom dne, čím môžeme do Európy dopravovať zemný plyn aj z iných kontinentov [1], [2].



Obrázok 1: Plynovody v strednej Európe [4]

2.1.1 Rozdelenie plynovodov

Základným rozdelením plynovodov je rozdelenie podľa tlaku, kedy plynovody rozdeľujeme na [5]:

- nízkotlaké (≤ 5 kPa) - na rozvody plynu v obytných domoch
- stredotlaké (≤ 400 kPa) - na pouličné rozvody medzi regulačnou stanicou a obytnými domami
- vysokotlaké (≤ 4 MPa) - na dopravu plynu do jednotlivých obcí v rámci krajiny
- veľmi vysokotlaké (≥ 4 MPa) - na prepravnú sieť medzi jednotlivými krajinami alebo na väčšie vzdialenosti v rámci jednej krajiny

2.1.2 Požiadavky na plynovody

Komponenty na výstavbu plynovodov (rúry, ohyby, T-kusy, dná, redukcie) sú vyrábané a dodávané v zmysle noriem:

- ČSN EN ISO 3183 [6] – norma pre naftový a plynárenský priemysel
- EN 1594:2014 [7] – norma pre plynovody s maximálnym prevádzkovým tlakom nad 16 barov
- STN ISO 4200:2010 [8] – norma pre oceľové zvárané a bezšvové rúry
- EN 10253-2 [9] – tvarovky pre naváranie

Tieto komponenty musia byť certifikované v zmysle STN EN 10204 [10] – kovové výrobky, druhy dokumentov kontroly (Certifikáty 3.1 resp. 3.2).

Tlakové zariadenia a zostavy (filtre, chladiče, tlakové nádoby) s maximálnym prípustným tlakom vyšším ako 0,5 baru, ktoré sú súčasťou kompresorových staníc, meracích staníc a trasových uzáverov musia byť navrhované, vyrábané a posudzované v zmysle smernice PED (Pressure Equipment Directive) [11].

2.2 Prepravná sieť

Prepravná sieť je tvorená plynovodnými úsekmi, ktoré môžu byť uložené v zemi, pod vodou alebo nad zemou. Prepravnú sieť ďalej tvoria aj stanice (kompresorové, meracie, regulačné) a trasové uzávěry, ktoré sú umiestňované približne každých 20-25 km.

2.2.1 Plynovodné úseky

Plynovodné úseky sú tvorené rúrami, ktoré môžeme podľa spôsobu výroby rozdeliť na rúry bezšvové a zvárané (pozdĺžne alebo špirálovo).

U menších dimenzií (do DN200) sa využívajú bezšvové rúry, ktoré sú vyrábané vytvorením pozdĺžneho otvoru pretlačením pracovného trňa materiálom. Táto technológia výroby nie je vhodná pre rúry veľkých rozmerov, pretože by bolo potrebné použiť rozmerný ingot a veľký priemer pretlačovacieho trňa. Okrem tejto nevýhody by deformácia materiálu mohla viesť k vytváraniu trhlin v stene rúry. Bezšvové rúry sa dajú vyrobiť aj valcovaním za tepla, kde je najväčšou nevýhodou nehomogenita hrúbky steny po dĺžke aj obvode rúry. U veľkých priemerov to vedie k pomerne značnej hrúbke steny a teda k vysokej hmotnosti, čo je investične náročné. Z týchto dôvodov sú v práci zvolené zvárané rúry, ktoré sú vhodnejšie aj pri väčších dimenziách. Zvárané rúry môžu mať o niečo menšie hrúbky, ale hlavne hrúbka steny je veľmi homogénna. Rúry zvárané pozdĺžne sú používané v objektoch ako sú kompresorové alebo meracie stanice, zvyšné časti plynovodu tvoria rúry zvárané špirálovo [5].

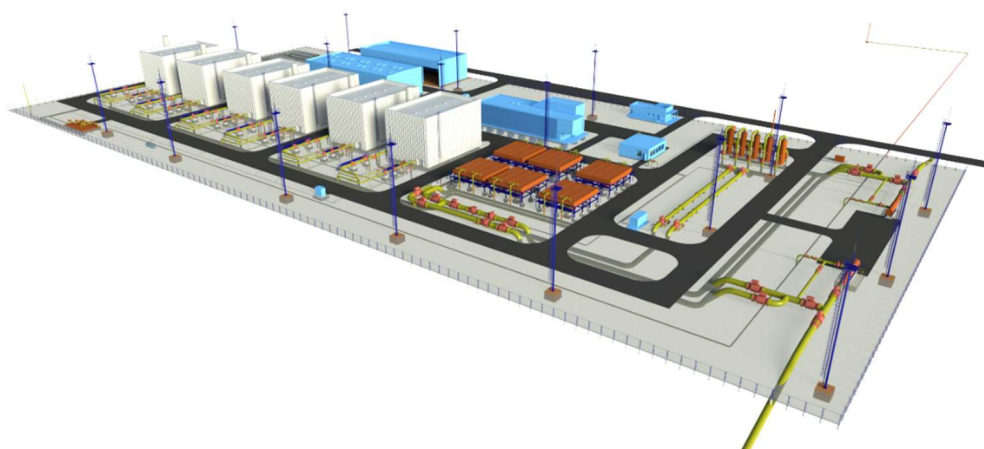
2.2.2 Kompresorová stanica

Pri preprave zemného plynu diaľkovými plynovodmi dochádza k tlakovým stratám. Tieto straty sú spôsobené trením plynu ako o steny potrubia, tak aj vnútorným trením jednotlivých častí

plynu o seba. Aby sme plyn dopravili na určené miesto, je potrebné tieto straty kompenzovať, na čo nám slúžia kompresorové stanice (Obrázok 2), ktoré zvyšujú tlak plynu.

Kompresory používané v plynárenstve sa delia do dvoch základných skupín, na piestové stroje a turbokompresory. Piestové stroje sú stroje, ktoré pracujú na základe zmeny objemu pracovného priestoru (valca). Turbokompresory sú rýchlostné stroje, v ktorých dochádza k zvýšeniu tlaku v dôsledku zvýšenia rýchlosti prúdiaceho plynu medzi lopatkami rotora [5].

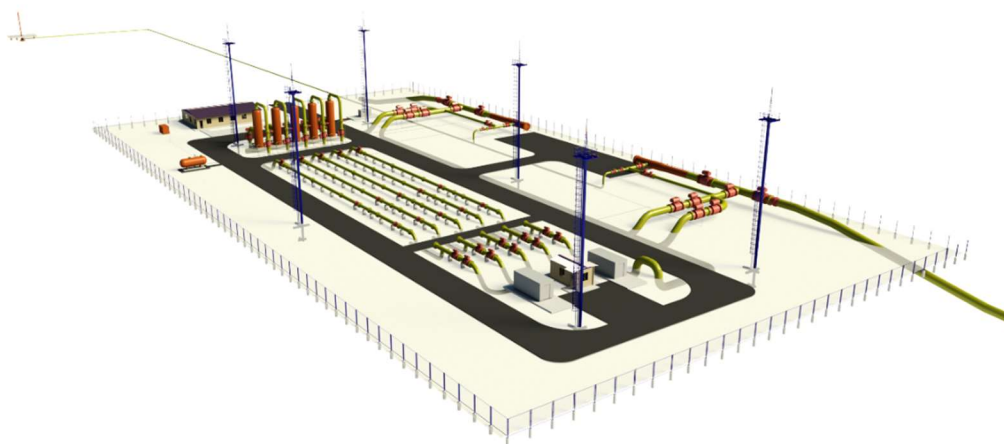
Najčastejším druhom pohonu kompresora na diaľkových plynovodoch sú plynové turbíny. Charakteristickým znakom spaľovacích turbín používaných v plynárenstve pre pohon kompresora je tzv. delená turbína. Znamená to, že expanzia spalín prebieha v turbíne, ktorej rotor je rozdelený na 2 časti. Jedna časť je spojená s rotorom vzduchového kompresora spaľovacej turbíny, s ktorým je vo výkonovej rovnováhe a druhá časť je spojená s hriadeľom pripojeným spojkou k poháňanému stroju (plynovému kompresoru) [5].



Obrázok 2: Kompresorová stanica [12]

2.2.3 Meracia stanica

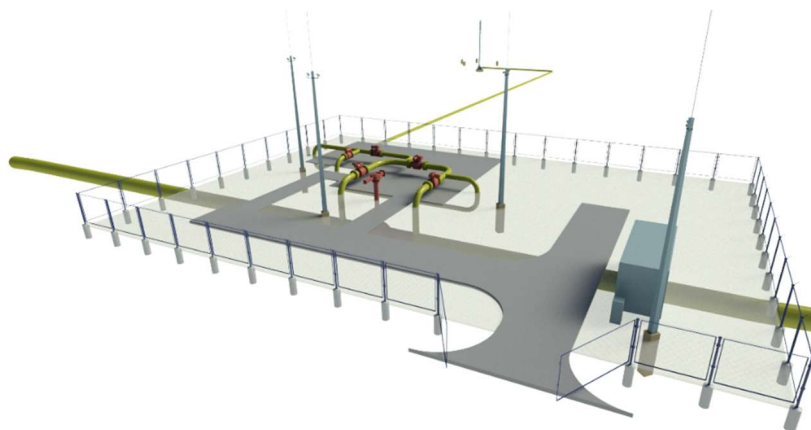
Hraničné a vnútroštátne meracie stanice (Obrázok 3) sú umiestňované na jednotlivých vstupných a výstupných bodoch z/do prepravnej siete. Účelom týchto staníc je merať množstvo a kvalitu plynu [13].



Obrázok 3: Meracia stanica [12]

2.2.4 Trasový uzáver (TU)

Trasové uzávery (Obrázok 4) sú dôležitou časťou plynovodu, pretože umožňujú prípadné zastavenie prietoku plynu na jednotlivých úsekoch plynovodu. Uzáver sa pri poklese prepravovaného množstva plynu automaticky uzavrie a uzatvorí úsek. Ďalšími funkciami trasových uzáverov sú napríklad aj odtlakovanie plynovodu, prepustenie plynu medzi úseky plynovodu a eventuálne čistenie úsekov plynovodu. Trasové uzávery rozdeľujú trasu plynovodu do celkov, ktorých dĺžka je zvyčajne okolo 20 km. U väčších dimenzií sú trasové uzávery nákladné, preto nie je cieľom vytvárať príliš krátke úseky, ktoré by zvyšovali investičné náklady [5].



Obrázok 4: Trasový uzáver [12]

3 Prúdenie plynu v potrubí

Správanie sa plynu pri prúdení v potrubí je zložitý proces, ktorý ovplyvňuje veľa faktorov, ako je napríklad charakter prúdenia, tlakové straty, stlačiteľnosť, či viskozita plynu. V tejto kapitole sú bližšie popísané faktory ovplyvňujúce prúdenie plynu.

3.1 Reynoldsovo číslo

Matematický popis prúdenia je veľmi náročný, preto bola vyvinutá teória podobnosti vychádzajúca z úvahy, že ak sú systémy podobné, tak by sa mali aj podobne chovať a na rovnaké zmeny reagovať rovnako. Preto pre prúdenie tekutín potrubím bolo zavedené Reynoldsovo číslo, ktoré je jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich prúdenie, konkrétne charakter prúdenia [5]. Jeho hodnotu vypočítame podľa vzťahu (1):

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (1)$$

Kde: v – rýchlosť prúdenia tekutiny ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 D – charakteristický rozmer - vnútorný priemer (m)
 ρ – hustota prúdiacej tekutiny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 μ – dynamická viskozita tekutiny ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

3.2 Charakter prúdenia

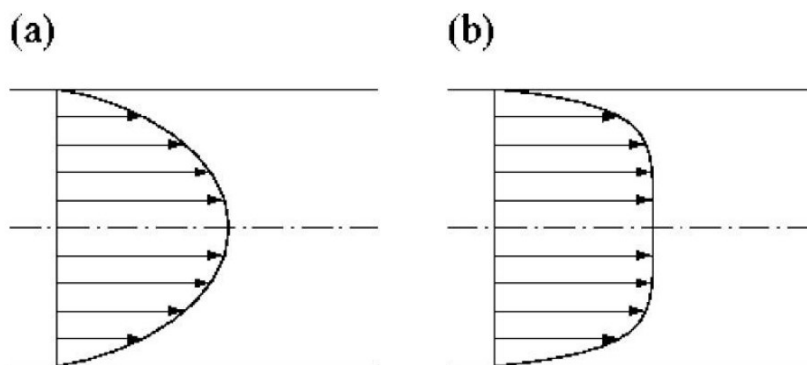
Pomocou Reynoldsovho čísla vieme popísať charakter prúdenia tekutín potrubím, pre ktoré platí [5]:

- pre $Re < 2300$ ide o laminárne prúdenie,
- pre $230 \leq Re \leq 10\,000$ je to prechodové prúdenie,
- pre $Re > 10\,000$ sa jedná o turbulentné prúdenie,
- pre $Re > 100\,000$ ide o plne vyvinuté turbulentné prúdenie.

Znalosť charakteru prúdenia je veľmi dôležitá pri voľbe vzťahov pre hydraulické výpočty (pretože podobne sa chovajú len podobné systémy).

Laminárne prúdenie je charakteristické pre prúdenie tekutiny potrubím malými rýchlosťami. Jednotlivé častice tekutiny sa pohybujú po nejakých vrstvách (trajektóriách) rovnobežných s osou potrubia a neprechádzajú z jednej vrstvy do druhej. Bezprostredne u steny potrubia je vrstva tekutiny prakticky nehybná a smerom k ose potrubia rýchlosť častice rastie. Rýchlostný profil laminárneho prúdenia je znázornený na Obrázku 5a.

Turbulentné prúdenie je naopak prúdenie vysokými rýchlosťami, kedy je usporiadanie trajektórií častíc úplne náhodné. V potrubí sa tvoria rôzne víry a tekutina sa pohybuje aj v bezprostrednej blízkosti stien. Rýchlostný profil turbulentného prúdenia je znázornený na Obrázku 5b.



Obrázok 5: Rýchlostný profil a) laminárneho b) turbulentného prúdenia v rúre kruhového prierezu

3.3 Súčiniteľ dĺžkových tlakových strát

Súčiniteľ dĺžkových strát λ predstavuje bezrozmernú veličinu, ktorá zohľadňuje rôzne vplyvy na vznik tlakových strát. V súčasnosti je známe veľké množstvo rovníc, ktoré slúžia na výpočet súčiniteľa dĺžkových strát. Pretože najčastejšie používané sú rúry s kruhovým prierezom, väčšina týchto rovníc bola zostavená na základe pozorovania správania sa tekutiny pri prúdení v potrubí s kruhovým prierezom [14].

Takmer vo všetkých vzťahoch pre výpočet súčiniteľa dĺžkových strát vystupuje Reynoldsovo číslo určujúce charakter prúdenia. Pre laminárne prúdenie závisí hodnota λ len na charaktere prúdenia. U steny potrubia je nehybná vrstva tekutiny, preto sa vplyv nerovností steny potrubia nemôže do hodnoty λ premietnuť. U turbulentného prúdenia, kde dochádza k priamej interakcii prúdiacej tekutiny s nerovnosťami steny potrubia, závisí hodnota λ aj na drsnosti potrubia [5].

V programe Simone [15], ktorý je v tejto práci použitý pre hydraulické výpočty, je súčiniteľ dĺžkových strát λ možné počítať pomocou napríklad Hoferovho (2) alebo Nikuradzeho (3) vzťahu.

Hoferov vzťah [16]

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \log \left(\frac{4,518}{Re} \log \left(\frac{Re}{7} \right) + \frac{k}{3,71 \cdot D} \right) \right)^2} \quad (2)$$

Kde: k – ekvivalent drsnosti potrubia (mm)

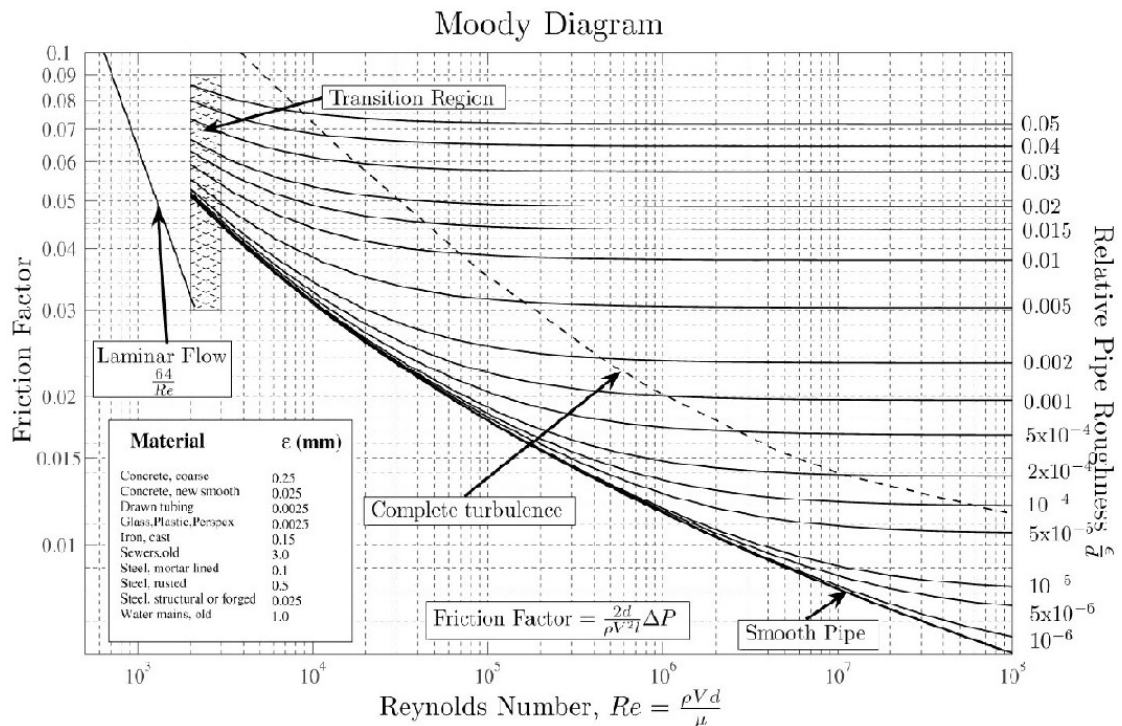
Re – Reynoldsovo číslo

D – vnútorný priemer potrubia (mm)

Nikuradzeho vzťah [16]

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \log \left(\frac{D}{k} \right) + 1,138 \right)^2} \quad (3)$$

Na určenie hodnoty súčiniteľa dĺžkových strát sa okrem výpočtových vzťahov používajú aj diagramy. Z týchto diagramov sú hodnoty λ priamo odčítavané, čo je síce veľmi rýchly, ale menej presný spôsob určenia λ . Najvýznamnejším diagramom je Moodyho diagram (Obrázok 6), ktorý dáva do súvisu súčiniteľ dĺžkových strát (v grafe Friction Factor), Reynoldsovo číslo a pomernú drsnosť potrubia [14].



Obrázok 6: Moodyho diagram [14]

Na základe charakteru prúdenia a typu potrubia môžu nastať 4 situácie, podľa ktorých sa stanoví vhodná rovnica pre výpočet súčiniteľa dĺžkových strát (pozri Obrázok 6):

- v oblasti laminárneho prúdenia (laminar flow)
- v hydraulicky hladkých potrubíach (smooth pipe)
- v hydraulicky drsných potrubíach
- v turbulentnej oblasti (complete turbulence)

3.4 Stlačiteľnosť

Stlačiteľnosť je schopnosť tekutiny meniť svoj objem (tým pádom aj hustotu) s tlakom, kedy tekutina znižuje svoj objem pri zväčšovaní pôsobenia vonkajšieho tlaku. Súčiniteľ stlačiteľnosti (stlačiteľnosť) je daný vzťahom (4):

$$\delta = \frac{1}{V_0} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_{T=konst} = \frac{1}{K} \quad (4)$$

Kde: V_0 – počiatočný objem (m^3)

$\left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)$ – zmena objemu s tlakom

K – modul objemovej stlačiteľnosti (Pa)

U plynov (stlačiteľných tekutín) sú hodnoty týchto koeficientov závislé na druhu zmeny [17].

V tejto práci je stlačiteľnosť počítaná pomocou Papayovho vzťahu (5), ktorý je používaný pre tlaky až do 150 barov [16]:

$$z = 1 - 3,52p_r \cdot e^{(-2,260T_r)} + 0,274p_r^2 \cdot e^{(-1,878T_r)} \quad (5)$$

Kde: z – faktor stlačiteľnosti

p_r – bezrozmerný redukovaný tlak

T_r – bezrozmerná redukovaná teplota

3.5 Viskozita plynu

Viskozita (vnútorné trenie) je schopnosť tekutiny prenášať tečné napätie [17]. Newton poukázal na parametre, od ktorých veľkosť napätia závisí (Newtonov zákon viskozity) [18]:

$$\tau = \mu \frac{dc}{dy} \quad (6)$$

Kde: μ – dynamická viskozita ($Pa \cdot s$)

$\frac{dc}{dy}$ – gradient rýchlosti

V rovniciach sa často vyskytuje aj pomer dynamickej viskozity μ delenej hustotou p nazývaný aj ako kinematická viskozita ν [17]:

$$\nu = \frac{\eta}{p} \quad (7)$$

V tejto práci sú výpočty riešené pomocou programu Simone, kde sa v predvolených nastaveniach viskozita považuje za konštantnú pri vstupe do siete. Avšak v prípade vysokotlakých systémov s izolovaným potrubím môže byť zahrnutá rozdielna viskozita [16]. Pre výpočty bol použitý vzorec Lee66 (8), čo je vzťah pre výpočet viskozity zemného plynu, ktorý v roku 1966 prezentovali Lee, Gonzales a Eakin [19].

$$\mu = K \cdot e^{(X \cdot p^Y)} \quad (8)$$

$$K = \frac{(9,379 + 0,016 \cdot M) \cdot T^{1,5}}{209,2 + 19,26 \cdot M + T} \quad (9)$$

$$X = 3,448 + \frac{986,4}{T} + 0,01009 \cdot M \quad (10)$$

$$Y = 2,4 - 0,2 \cdot X \quad (11)$$

3.6 Vedenie tepla

V štandardnom balíčku Simone je vedenie tepla počítané na základe teplotných zmien v potrubí za kompresorovou stanicou, alebo tlakovým ventilom. Teplota každého uzla môže byť zadaná individuálne pre časový okamih. Väčšinou je tento model dostatočný, avšak sú aj situácie, kedy je tento popis vedenia tepla nedostatočný (dochádza ku zníženiu presnosti výpočtu) [16].

V Simone je využitý nasledujúci vzorec (12) pre prestup energie [16]:

$$S\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + w \frac{\partial T}{\partial x} \right) - S \left(1 + \frac{T}{z} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p \right) \frac{\partial p}{\partial t} - Sw \frac{T}{z} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right)_p \frac{\partial p}{\partial x} + Swg\rho \frac{\partial h}{\partial x} + Q_E = 0 \quad (12)$$

Kde: S – prierez potrubia (m^2)
 ρ – hustota plynu ($kg \cdot m^{-3}$)
 c_p – merná tepelná kapacita plynu ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
 T – teplota plynu (K)
 t – čas (s)
 w – rýchlosť prúdenia ($m \cdot s^{-1}$)
 x – dĺžkový koordinát (m)
 p – tlak (Pa)
 z – faktor stlačiteľnosti (-)
 g – gravitačné zrýchlenie ($m \cdot s^{-2}$)
 h – geodetická výška (m)
 Q_E – tepelný tok cez vnútornú vrstvu potrubia ($J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)

3.7 Výpočet tlakového spádu

Stanovenie tlakového spádu na priamom úseku potrubia s konštantným priemerom, kde je zahrnutý rozdiel nadmorských výšok vstupu a výstupu vychádza z Bernoulliho rovnice (zákon zachovania energie). Pre diferenciálne malý úsek dx potrubia má táto rovnica (13) tvar [18]

$$v \cdot dv + g \cdot dh + \frac{dp}{\rho} + da_{tr} = 0 \quad (13)$$

Kde: h – nadmorská výška (m)

a_{tr} – trecia práca (J)

ρ – hustota ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Postupnými úpravami rovnice (13) je možné sa dopracovať ku vzťahu (14) pre výpočet koncového tlaku p_2 , ktorý je funkciou hmotnostného prietoku [18]:

$$p_2 = \sqrt{\frac{p_1^2 - \lambda \cdot C \cdot |Q_m| \cdot Q_m \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \alpha}} \quad (14)$$

Kde: p_1 – tlak na vstupe (Pa)

λ – súčiniteľ dĺžkových strát

Q_m – hmotnostný prietok ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

l – dĺžka plynovodu (m)

Hodnoty konštant C a α určíme pomocou nasledujúcich vzťahov (15) a (16):

$$C = \frac{z_{str} \cdot R \cdot T_{str}}{A^2 \cdot d} \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{z_{str} \cdot R \cdot T_{str}} \quad (16)$$

Kde: z_{str} – koeficient stlačiteľnosti, ktorý je v tejto rovnici považovaný za konštantný

T_{str} - stredná teplota – je ňou nahradený teplotný spád, ktorý je z dôvodu malých zmien teplôt v priebehu roka považovaný za bezvýznamný

R – univerzálna plynová konštanta (približne $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Δh – rozdiel nadmorských výšok vstupného a výstupného bodu potrubia

Úpravou rovnice (14) vieme vypočítať tlak v ľubovoľnom mieste potrubného úseku vo vzdialenosti x , kedy je vzťah upravený na tvar [18]:

$$p_x = \sqrt{\frac{p_1^2}{(1+\alpha)} + \left(p_2^2 - \frac{p_1^2}{1+\alpha}\right) \cdot \frac{x}{l}} \quad (17)$$

Z rovnice (13) je možné vyjadriť aj hmotnostný prietok Q_m ako funkciu počiatočného a koncového tlaku:

$$Q_m = \sqrt{\frac{p_1^2 - (1+\alpha) \cdot p_2^2}{\lambda \cdot C \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right)}} \quad (18)$$

Pri normálnych technických podmienkach (teplota 0 °C a tlak 101,325 kPa) potom platí:

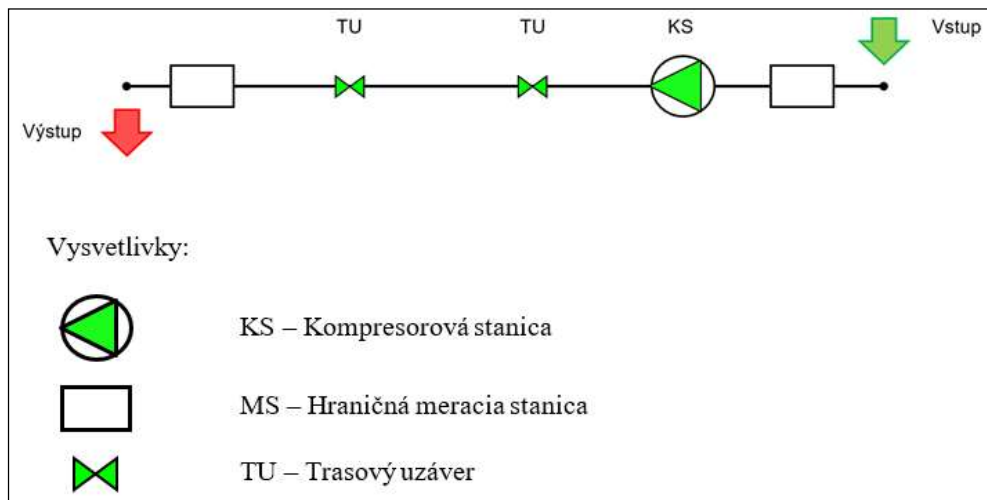
$$Q_{at,0} = \frac{\rho}{\rho_{at,0}} \cdot Q \quad (19)$$

$$Q_{at,0} = \frac{z_{at,0} \cdot T_0}{p_{at}} \cdot \sqrt{\frac{p_1^2 - (1+\alpha) \cdot p_2^2}{\lambda \cdot C \cdot l \cdot (1 + \alpha/2)}} \cdot R^2 \quad (20)$$

4 Výpočtová časť

4.1 Zadanie

Zadaním tejto práce je navrhnuť vysokotlaký plynovod, ktorý má mať čo najnižšie náklady pre požadovaný prietok 40 mil.Nm³/d. Tieto náklady budú porovnávané za obdobie prevádzky 20 rokov pre 3 varianty plynovodov (DN800, DN900, DN1000).



Obrázok 7: Zjednodušená schéma navrhovaného plynovodu

Tabuľka 2: Zadané veličiny

Vstupný tlak	p_1	50 bar
Vstupná teplota	T_1	20 °C
Nadmorská výška na vstupe	H_1	100 m
Výstupný tlak	p_2	50 bar
Prepravované množstvo	Q	40 mil.Nm ³ /d
Nadmorská výška na výstupe	H_2	550 m
Dĺžka plynovodu	L	100 km
Teplota zeme	T_{zeme}	15 °C
Drsnosť	k	12 μm
Strata meracej stanice	Δp	0,5 bar
Max. výstupná teplota z KS		45 °C
Účinnosť kompresora	η_K	85 %
Účinnosť pohonu (turbíny)	η_T	30 %

4.2 Voľba materiálu

Na výstavbu plynovodu prichádzalo do úvahy viacero materiálov rôznej akosti. Pre túto prácu bol zvolený materiál L485, ktorý je bežne používaným materiálom pre výstavbu plynovodov overený dlhoročnou praxou. Výhodou tohto materiálu je jeho pomer ceny ku kvalite. Pri voľbe materiálu nižšej kvality (nižšia medza klzu) by bola potrebná väčšia hrúbka steny. Finálne náklady by v tomto prípade boli vyššie z dôvodu zvýšených nákladov na montáž (doprava, zváranie, RTG) a prevádzku (kompresorová práca).

Požiadavky na výsledky ťahovej skúšky rúr z materiálu L485 [6]:

Medza klzu: $R_{t0,5} = 485 \text{ MPa}$

Medza pevnosti v ťahu: $R_m = 570 \text{ MPa}$

4.3 Výpočet hrúbky steny potrubia

Prvým parametrom, ktorý je potrebné určiť pri návrhu potrubia plynovodu je hrúbka steny pre všetky riešené priemery (v tomto prípade DN1000, DN900 a DN800). Výpočet hrúbky steny potrubia je jedným z najpodstatnejších krokov pri návrhu plynovodu, na ktorej nám závisí nielen bezpečnosť prevádzky, ale sa od nej odvíja aj ekonomika stavby potrubia. Pri predimenzovaní to môže viesť ku zbytočne veľkej hmotnosti rúr, čo sa prejaví na cene materiálu a na zvýšených nákladoch za dopravu a manipuláciu s rúrami pri stavbe. V návrhoch budem vychádzať z normy STN EN 1594:2014 [7], čo je norma pre plynovody s maximálnym prevádzkovým tlakom nad 16 barov. Pre bežné podmienky zaťaženia sa vypočíta minimálna hrúbka steny rovnej rúry podľa nasledovného vzorca (21):

$$T_{min} = \frac{DP \cdot D}{20 \cdot f_0 \cdot R_{t0,5}(\theta)} \quad (21)$$

Kde: DP – návrhový tlak (bar)

D – vonkajší priemer potrubia (mm)

f_0 – koeficient navrhovania

$R_{t0,5}$ – medza klzu (N/mm^2)

T_{min} – minimálna hrúbka steny (mm)

Hodnota medze klzu závisí od zvoleného materiálu (L485), ktorého medza klzu je 485 N/mm^2 . Maximálny koeficient navrhovania (f_0) v príslušných úsekoch má nasledovné hodnoty:

- Úseky uložené pod zemou mimo staníc: $f_0 = 0,72$
- Stanice: $f_0 = 0,67$

Pri určovaní hrúbky steny je potrebné zahrnúť aj prídavok na nepresnosť pri výrobe, ktorý určíme z tolerancií hrúbky steny. Pre zvárané rúry sú prídavky na nepresnosť nasledovné [6]:

- $T \leq 10$ → prídavok + 0,5 mm
- $10 < T < 20$ → prídavok + 5 %
- $T \geq 20$ → prídavok + 1,0 mm

Keď sa prídavok na nepresnosť označí ako C_2 , potom sa vypočítaná hrúbka steny (T_{vyp}) dopočíta pomocou vzťahu:

$$T_{vyp} = T_{min} + C_2 \quad (22)$$

Konkrétnu hrúbku steny potrubia T je teraz potrebné určiť z normalizovaných hodnôt, ktoré sú obsiahnuté v norme ISO 4200:2010 [8]. Zvolené hrúbky stien a dopočítané vnútorné priemery potrubí sú uvedené v Tabuľke 3.

Tabuľka 3: Rozmery potrubí

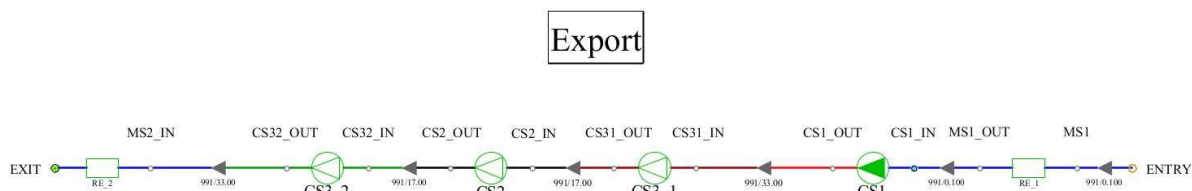
DN	T_{min} (mm)	T_{vyp} (mm)	T (mm)	D (mm)	$D_{vnút.}$ (mm)
1000 PN75	10,91	11,46	12,5	1016	991
900 PN75	9,82	10,32	11	914	892
800 PN75	8,73	9,23	10	813	793

4.4 Hydraulická analýza

Pre hydraulické výpočty bol v tejto práci použitý software Simone, ktorý slúži pre simuláciu a optimalizáciu prepravy zemného plynu. V programe je možné vytvoriť model siete, ktorý obsahuje rôzne zariadenia (potrubia, kompresorové stanice, regulačné ventily, guľové uzávery, chladiče plynu, meracie stanice a zásobníky) a umožňuje simuláciu toku všetkých plynov v rôznych typoch sietí (vysokotlaké transportné potrubia, distribučné siete, nízkotlaké lokálne siete atď.). Simone využíva pôvodné teoretické výskumy a obsahuje veľmi výkonné algoritmy zaisťujúce vysokú rýchlosť výpočtu, presnosť a numerickú stabilitu [20].

4.4.1 Vytvorenie modelu siete v SW Simone

Na základe zadania bol vytvorený model siete (Obrázok 8), ktorý obsahuje meracie stanice (na vstupe a na výstupe) a kompresorové stanice. Jedna kompresorová stanica je umiestnená na začiatku potrubia a bude použitá vo všetkých variantoch. Ďalšie stanice sú umiestnené rovnomerne po dĺžke potrubia, a to do stredu potrubia v prípade potreby 2 kompresorových staníc, a do tretín potrubia v prípade 3 kompresorových staníc. Potrebné množstvo kompresorových staníc u rôznych potrubí bude zvolené na základe výpočtov.



Obrázok 8: Model siete vytvorený v programe Simone

4.4.2 Výpočet

Pre výpočet je potrebné v programe zadať okrajové podmienky, straty na meracích staniach, zloženie plynu a účinnosti kompresora a pohonu. Ďalej je potrebné nastaviť parametre, pomocou ktorých bude program počítať (Obrázok 9). Medzi tieto parametre patria rovnice pre výpočet viskozity plynu, tlakovej straty, faktora stlačiteľnosti a vedenia tepla. Všetky tieto rovnice sú uvedené a popísané v kapitole 3 (Prúdenie plynu v potrubí).

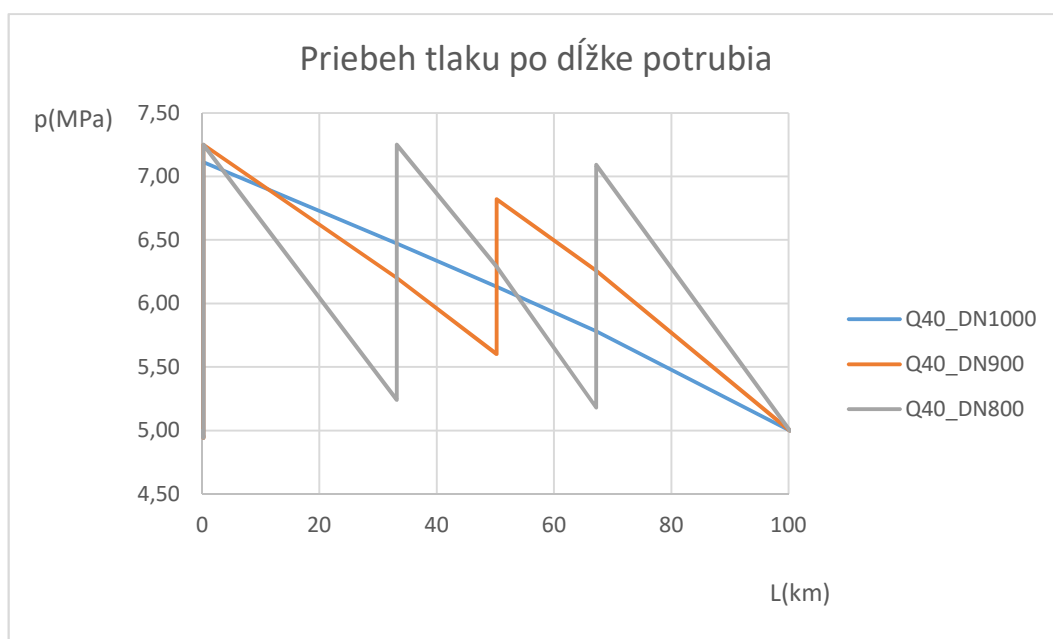
Parameter	Value
VISC Gas viscosity formula	Lee66
LAMBDA Pressure drop equation	Hofer
ZET Formula for compressibility factor	Papay
HD Heat Dynamics	Simple

Obrázok 9: Nastavenie systémových parametrov v programe Simone

4.4.3 Analýza výsledkov

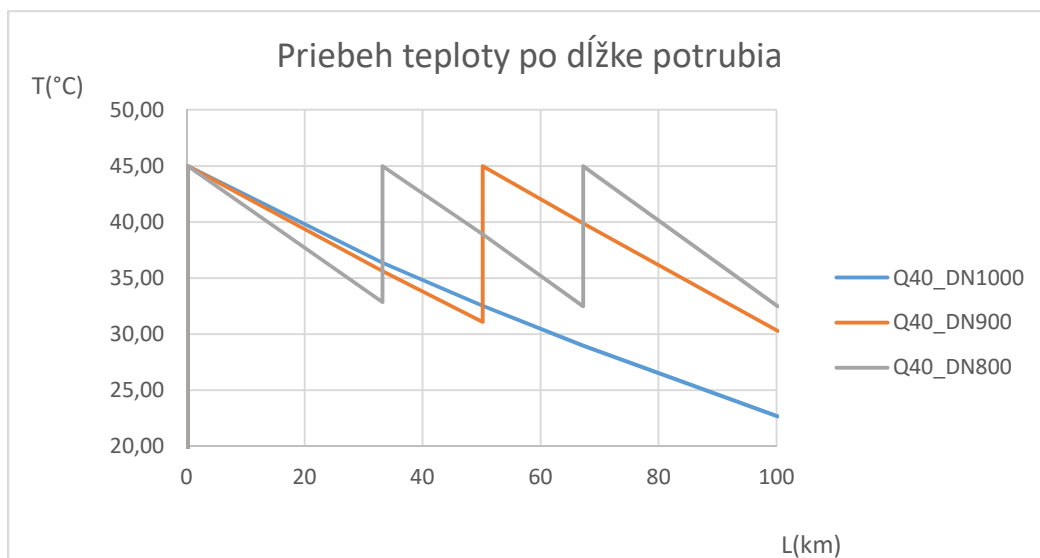
Výsledky výpočtov v programe Simone boli exportované a ďalej spracovávané v programe Excel (elektronická príloha). Výstupom hydraulických výpočtov bol počet kompresorových staníc pre dané priemery potrubí, výkon týchto kompresorových staníc a spotreba palivového plynu.

Počet kompresorových staníc bol volený tak, aby pri tlakových stratách ku ktorým pri prúde plynu dochádza, neklesol výstupný tlak pod požadovanú hodnotu 5 MPa. Na Obrázku 10 je znázornený priebeh tlaku pre prietok 40 mil.Nm³/d, z ktorého je zreteľne vidieť, koľko kompresorových staníc je pre dané priemery potrebných. U priemeru DN1000, kde sú menšie tlakové straty, stačí pre dosiahnutie zadaného výstupného tlaku len jedna kompresorová stanica umiestnená na začiatku potrubia. U menšieho priemeru DN900 sú tlakové straty väčšie, aby neklesol výstupný tlak pod hodnotu 5 MPa, je potrebné do polovice plynovodu umiestniť druhú kompresorovú stanicu, ktorá tlak zvýši. Pre priemer DN800 dochádza k oveľa väčším tlakovým stratám ako u ostatných 2 priemerov, preto sú na dosiahnutie požadovaného tlaku potrebné až 3 kompresorové stanice. Týmto spôsobom sú riešené počty kompresorových staníc pre všetky zisťované prietoky (Q40, Q30, Q20 a Q10).



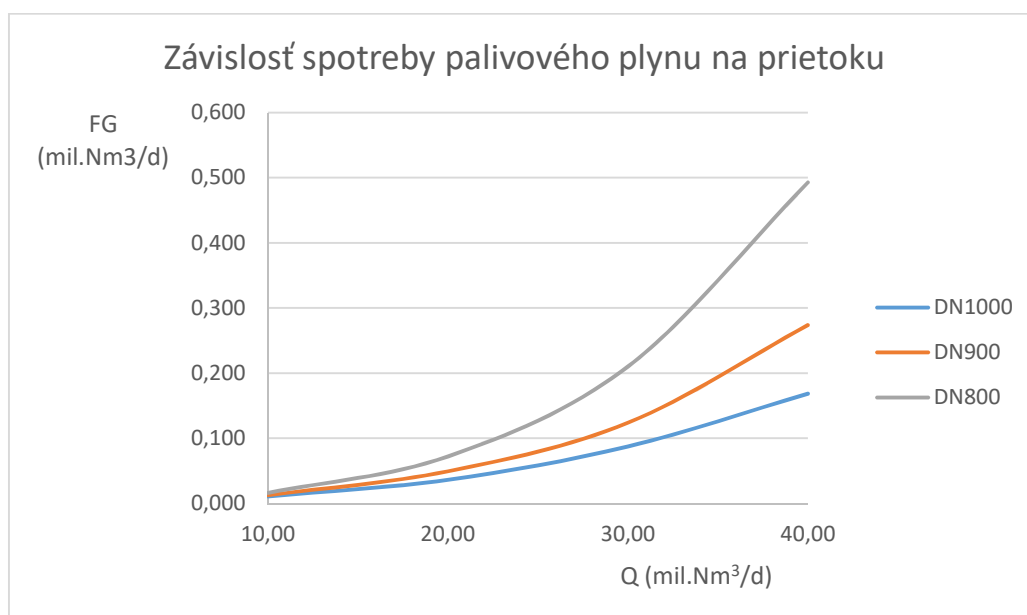
Obrázok 10: Priebeh tlaku po dĺžke potrubia

Tlakové straty sú spôsobené aj vzostupom teploty pri kompresii zemného plynu, preto je zo zadania dané, že teplota plynu na výstupe z kompresorovej stanice môže byť maximálne 45 °C. Pri výpočtoch to bolo dodržané nastavením maximálnej výstupnej teploty z kompresorovej stanice. Potrubie je uložené v zemi, preto bolo pri výpočtoch počítané s teplotou zeme, ktorá nie je ovplyvňovaná teplotou plynu. V tejto práci bola použitá teplota zeme pre letné obdobie (15 °C). Priebeh teplôt po dĺžke potrubia je zobrazený na Obrázku 11.



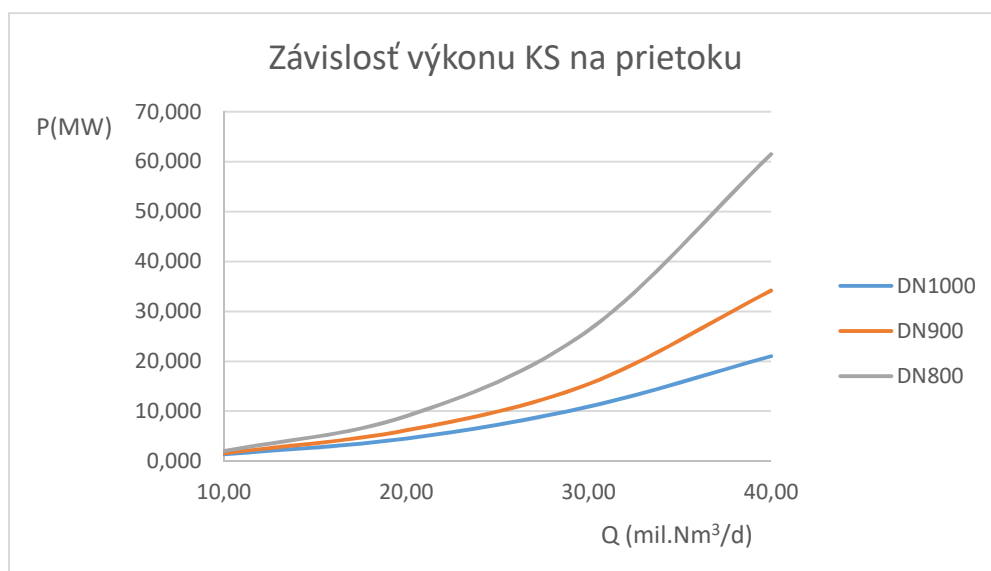
Obrázok 11: Priebeh teploty po dĺžke potrubia

Pri kompresii zemného plynu v kompresorových staniciach sa za účelom zvýšenia tlaku spotrebovávajú palivový plyn, ktorého závislosť na prietoku je znázornená na Obrázku 12.



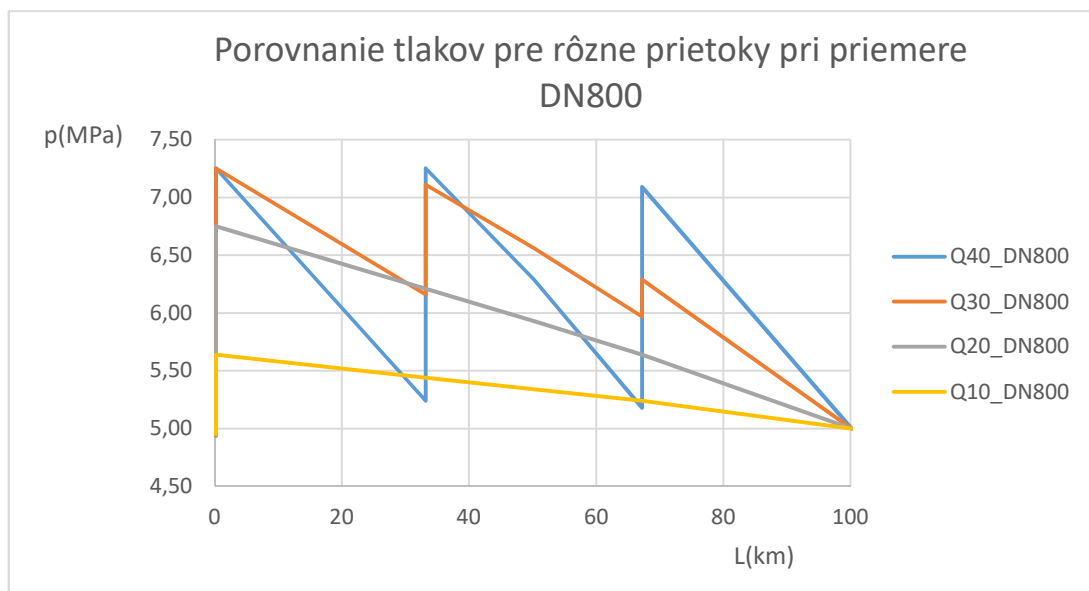
Obrázok 12: Závislosť spotreby palivového plynu na prietoku

S tlakovými stratami súvisí aj výkon KS potrebný pri kompresii zemného plynu. Čím menší je priemer potrubia, tým je potrebnější väčší výkon kompresorových staníc, pretože dochádza k väčším tlakovým stratám. Pre jednotlivé priemery potrubí je závislosť výkonu KS na prietoku zobrazená na Obrázku 13.



Obrázok 13: Závislosť výkonu KS na prietoku

Priebeh tlaku a tlakové straty sú ovplyvnené nielen priemerom potrubia, ale aj požadovaným prietokom. Pri menšom prietoku dochádza k menším tlakovým stratám a je potrebný nižší výstupný tlak z KS. Toto úzko súvisí aj s potrebným výkonom KS a spotrebou palivového plynu, ktoré sú oveľa nižšie pri menších prietokoch. Porovnanie tlakových priebehov pre rôzne prietoky pri použití rovnakého priemeru DN800 je zobrazené na Obrázku 14.



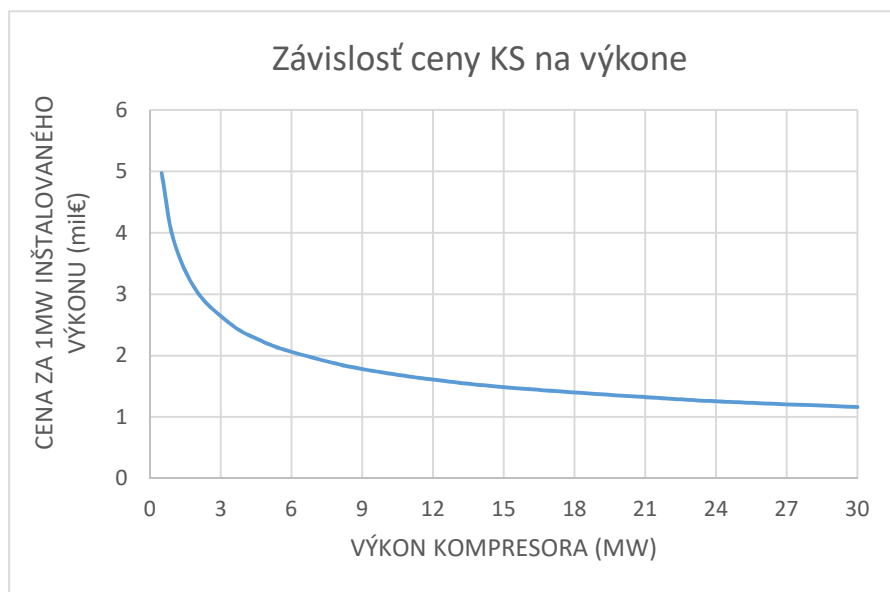
Obrázok 14: Porovnanie tlakov pre rôzne prietoky pri priemere DN800

4.4.4 Výber kompresorov

Na základe potrebného výkonu jednotlivých kompresorových staníc sú vyberané kompresory s plynovou turbínou od firmy Solar. Podľa výkonu kompresorov je zvolený ich počet a na každé 4 kompresory je počítané s jedným strojom do zálohy. Keďže táto práca je zameraná ekonomicky a cena kompresorových staníc je zahrnutá do investičných nákladov, je vhodné

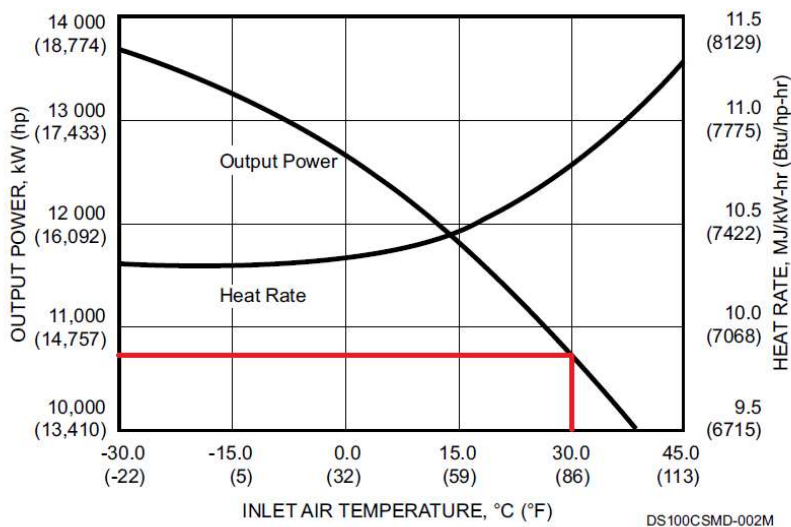
vyberať kompresory, ktoré sú z ekonomického hľadiska najvýhodnejšie. Cena kompresora sa odvíja od jeho ISO výkonu, ktorý udáva výrobca, pričom čím je stroj výkonnejší, tým je cena za 1 MW výkonu nižšia.

Závislosť, pomocou ktorej bola v tejto práci určovaná cena kompresorových staníc je zobrazená na Obrázku 15. Približne polovicu investícií do kompresorovej stanice tvorí samotný kompresor s turbínou. Druhú polovicu nákladov tvoria pomocné zariadenia, budova, riadiace systémy, príslušenstvo, potrubné rozvody atď.



Obrázok 15: Závislosť ceny KS na jeho výkone

ISO výkon uvádzaný výrobcami je pri teplote okolia 15 °C. Počas roka sa teplota vzduchu mení a keďže pri vyšších teplotách je výkon stroja nižší, sú v tejto práci stroje navrhované pre letnú teplotu (30 °C). Z tohto dôvodu je potrebné si presnejšie určiť výkony pri tejto teplote. Príklad určovania maximálneho výkonu pri 30 °C je uvedený na Obrázku 16.



Obrázok 16: Určovanie výkonu pri 30 °C [21]

Z týchto výkonov bolo určované, koľko strojov daného typu je potrebných v prevádzke a koľko v zálohe. Podľa počtu potrebných strojov a ceny za 1 MW výkonu boli pre každý stroj vypočítané investičné náklady, na základe ktorých boli pre každú kompresorovú stanicu zvolené cenovo najvýhodnejšie kompresory. V Tabuľke 4 je uvedené porovnanie cien niekoľkých kompresorov pre potrubie s priemerom DN1000 a prietok 40 mil.Nm³/d. Cena najvýhodnejšieho kompresora je v tabuľke zvýraznená.

Tabuľka 4: Porovnanie cien kompresorov pre potrubie DN1000 (prietok Q40)

Q40	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130
ISO výkon max (MW)	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29
30°C výkon max (MW)	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75
Počet strojov v prevádzke	5	3	3	2	2
Počet strojov v zálohe	2	1	1	1	1
CAPEX za 1MW (MEUR)	2,09	1,85	1,73	1,62	1,48
CAPEX (MEUR)	84,05	60,17	68,10	57,54	67,78

Týmto spôsobom boli vybrané najvýhodnejšie kompresory pre všetky kompresorové stanice a všetky uvažované prietoky (Príloha A), na základe čoho boli ďalej určované investičné náklady.

4.5 Analýza nákladov

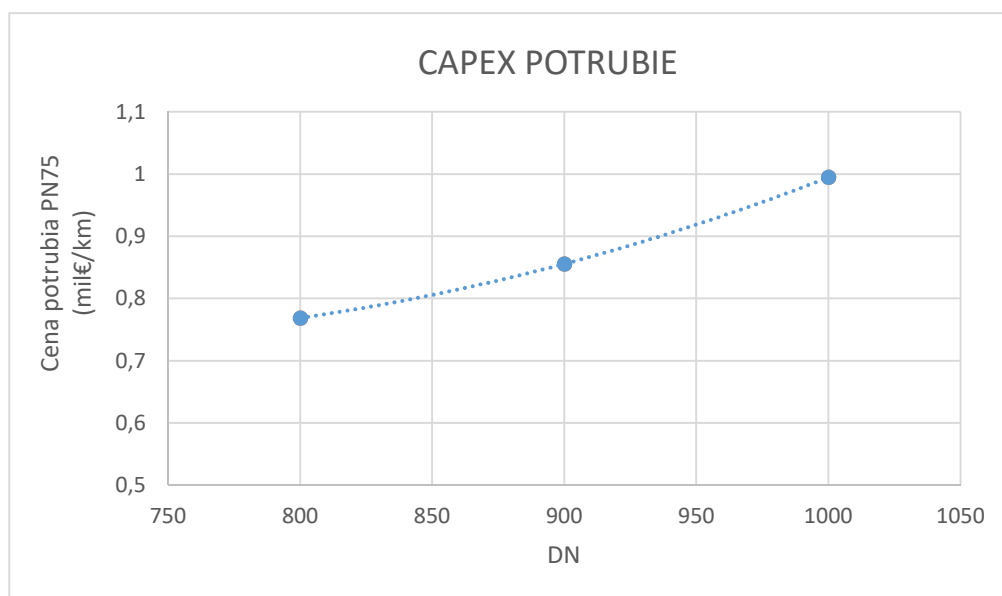
Hlavnou časťou tejto práce je ekonomické zhodnotenie, na základe ktorého bude navrhnutý priemer plynovodu. Náklady sú v práci rozdelené do 2 skupín, a to na CAPEX (investičné náklady) a OPEX (prevádzkové náklady).

4.5.1 Investičné náklady (CAPEX)

Investičné náklady tvoria náklady na výstavbu samotného plynovodu a náklady za kompresorové stanice.

CAPEX potrubia

Cena výstavby potrubia za 1 km bola určovaná pomocou závislosti zobrazenej na Obrázku 17. Táto závislosť bola vytvorená na základe priemerných cien pre rôzne priemery. V tejto cene sú okrem rúr zahrnuté aj náklady za zemné práce, výstavbu trasových uzáverov, ježkovacie komory, zváranie, prepravu potrubí, izoláciu a testovanie potrubí.



Obrázok 17: CAPEX za 1 km potrubia

Pri výpočte investičných nákladov potrubia sa vychádzalo zo zadanej dĺžky plynovodu 100 km, ku ktorej bolo pripočítaných 200 m plynovodu umiestnených pred prvou kompresorovou stanicou. Pri nákupe rúr je potrebné počítať s rezervou, preto boli k tejto dĺžke plynovodu prirátané 3 % dĺžky ako rezerva. Výsledný CAPEX potrubia je dopočítaný a uvedený v Tabuľke 5.

Tabuľka 5: CAPEX potrubia

	L(km)	L ₁ (km)	C _(1 km)	CAPEX (MEUR)
DN800	100,2	103,206	0,769	79,365
DN900	100,2	103,206	0,856	88,344
DN1000	100,2	103,206	0,995	102,690

$$L_1 = 1,03 \cdot L$$

$$\text{CAPEX (MEUR)} = C_{(1 \text{ km})} \cdot L_1$$

Kde: L – reálne inštalovaná dĺžka plynovodu

L₁ – kupovaná dĺžka plynovodu

C_(1 km) – CAPEX za 1 km potrubia (určené z Obrázku 17)

CAPEX kompresorových staníc

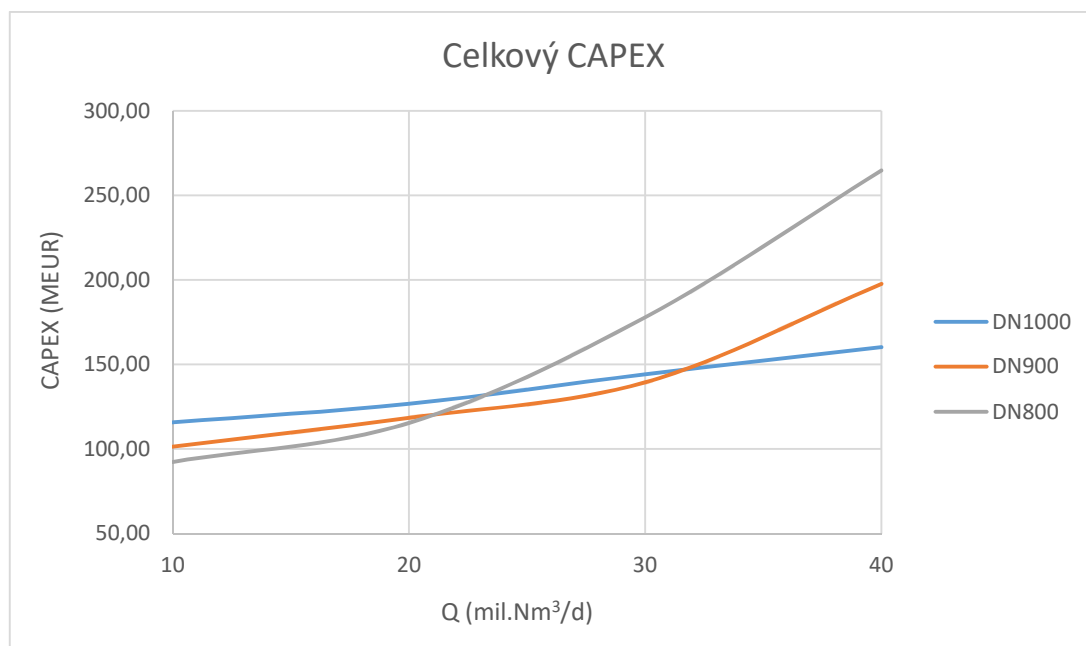
Investičné náklady za kompresorové stanice vychádzali z ceny kompresorov a ich potrebného počtu pre jednotlivé kompresorové stanice (pozri Výber kompresorov). V Tabuľke 6 sú uvedené investičné náklady pre všetky kompresorové stanice.

Tabuľka 6: CAPEX za kompresory na jednotlivých kompresorových staniciach

		DN1000	DN900		DN800		
		KS1	KS1	KS2	KS1	KS2	KS3
Q40	Stroje	Mars100	Titan130	Centaur50	Titan130	Mars100	Taurus60
	Náklady (MEUR)	57,5	67,8	41,5	67,8	57,5	60,0
Q30	Stroje	Centaur50	Mars90	-	Mars90	Taurus70	Saturn20
	Náklady (MEUR)	41,5	51,1	-	51,1	30,1	17,4
Q20	Stroje	Taurus60	Taurus70	-	Taurus60	-	-
	Náklady (MEUR)	24,0	30,1	-	36,0	-	-
Q10	Stroje	Saturn20	Saturn20	-	Saturn20	-	-
	Náklady (MEUR)	13,02	13,02	-	13,02	-	-

Celkové investičné náklady

Celkový CAPEX sa určí ako súčet nákladov za výstavbu plynovodu a nákladov za kompresorové stanice.



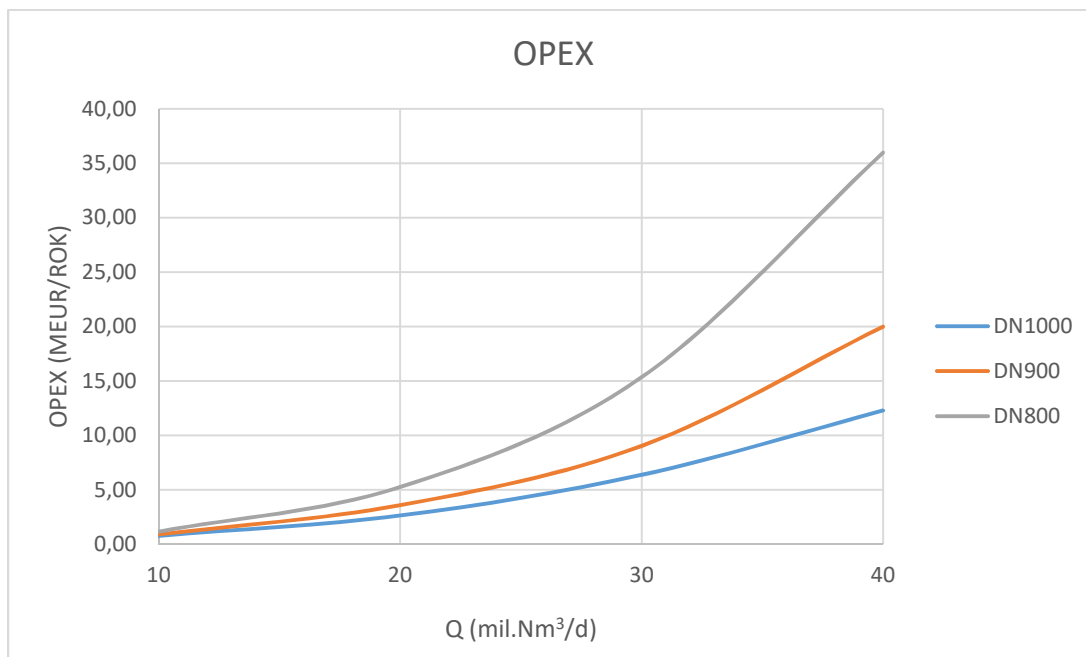
Obrázok 18: Celkové investičné náklady

Na Obrázku 18 je porovnanie investičných nákladov pre zadané priemery, kde je možné vidieť, že pri menších prietokoch sú nižšie investičné náklady pre plynovody s menším priemerom. So zvyšujúcim sa prietokom je však investične výhodnejšie potrubie s priemerom DN1000. U menších priemerov sa náklady pri väčšom prietoku zvýšili najmä kvôli potrebe viacerých kompresorových staníc.

Celkové investičné náklady (Obrázok 18) boli určené pre jednotlivé dimenzie pri prietokoch 10, 20, 30 a 40 mil. Nm³/d. Investičné náklady mimo uvedené prietoky sú na Obrázku 18 len orientačné, tieto by sa v prípade potreby museli opätovne prepočítať, s ohľadom na požadovaný výkon KS pri danom prietoku.

4.5.2 Prevádzkové náklady (OPEX)

Prevádzkové náklady boli v tomto prípade uvažované len pre spotrebu palivového plynu na kompresorových staniciach. Na Obrázku 19 je zobrazená závislosť prevádzkových nákladov (OPEX) na prietoku, z ktorej je možné konštatovať, že pri menších prietokoch (napríklad 10 mil.Nm³/d) je rozdiel nákladov minimálny. So zväčšujúcim sa prietokom sa rozdiel nákladov pre rôzne prietoky zvyšuje, z čoho je možné konštatovať, že pre najväčší uvažovaný priemer DN1000 sú prevádzkové náklady najnižšie.



Obrázok 19: Závislosť prevádzkových nákladov na prietoku

4.5.3 Ekonomické hodnotenie a porovnanie skúmaných variantov

Výpočet čistej súčasnej hodnoty (NPV)

Pre ekonomické porovnanie a vyhodnotenie jednotlivých analyzovaných variant bol použitý ukazovateľ NPV (čistá súčasná hodnota), kedy je pre výpočet použitý vzťah (23):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (23)$$

Kde: n – doba prevádzky (20 rokov)

CF_t (cash flow) – peňažný tok (M€)

r – diskontná sadzba – WACC (%)

Ekonomické hodnotenie budú okrem nákladov najviac ovplyvňovať 2 hlavné faktory, a to diskontná sadzba (WACC) a cena za spotrebu palivového plynu.

WACC (Weighted Average Cost of Capital) alebo aj diskontná sadzba predstavuje priemernú mieru výnosu, ktorú požadujú poskytovatelia kapitálu [22]. Výška použitej diskontnej sadzby

môže výrazne ovplyvniť návratnosť investície, najmä ak sa vyhodnocujú v dlhšom časovom horizonte. V tejto práci bude počítané s diskontnou sadzbou 6 %.

Cena za spotrebu palivového plynu sa odvíja od aktuálnej ceny plynu. V tejto práci bolo počítané s cenou plynu pre deň 12.04.2019, ktorá bola 18 €/MWh [23]. Keďže spotreba palivového plynu je uvedená v m³, bola cena prepočítaná pomocou prepočtového koeficientu, ktorý závisí na zložení plynu. Prepočtový koeficient (spálne teplo) bol určený pomocou programu Simone a následne bola určená cena plynu, s ktorou sa počítalo v prevádzkových nákladoch.

$$\text{Spálne teplo} = 11,36 \text{ kWh/m}^3$$

$$18 \text{ €/MWh} = 0,018 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Cena plynu} = 0,018 \cdot 11,36 = 0,2 \text{ €/m}^3$$

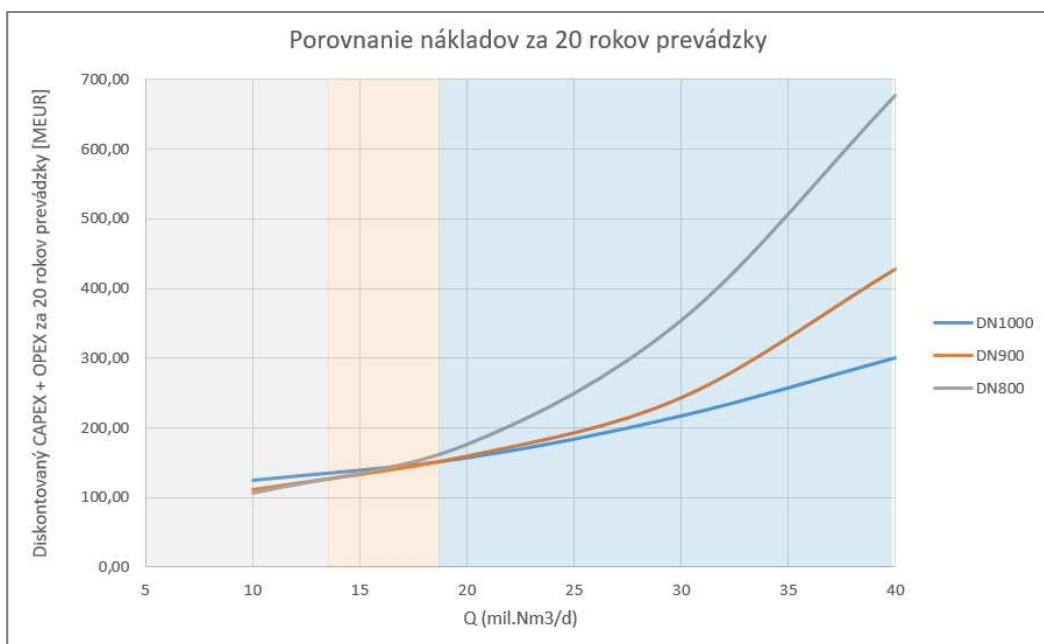
Príklad určovania čistej súčasnej hodnoty pre priemer DN1000 a prietok 40 mil.Nm³/d je v zjednodušenej verzii uvedený v Tabuľke 7. Rovnakým spôsobom bola NPV počítaná aj u ostatných variantov (Príloha B).

Tabuľka 7: NPV za 20 rokov pre priemer DN1000 a prietok 40mil.Nm³/d

	Jednotky	Výstavba	Prevádzka				
Q40		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubie	MEUR	102,68997					
Kompresorová stanica	MEUR	57,54					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
CF: Peňažný tok	MEUR	160,23	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
DCF: Diskontovaný peňažný tok	MEUR	160,23	11,59	9,18	6,86	5,13	3,83
NPV: Čistá súčasná hodnota	MEUR	160,23	171,82	212,00	250,68	279,59	301,19
NPV ₂₀	MEUR	301,2					

Porovnanie variantov

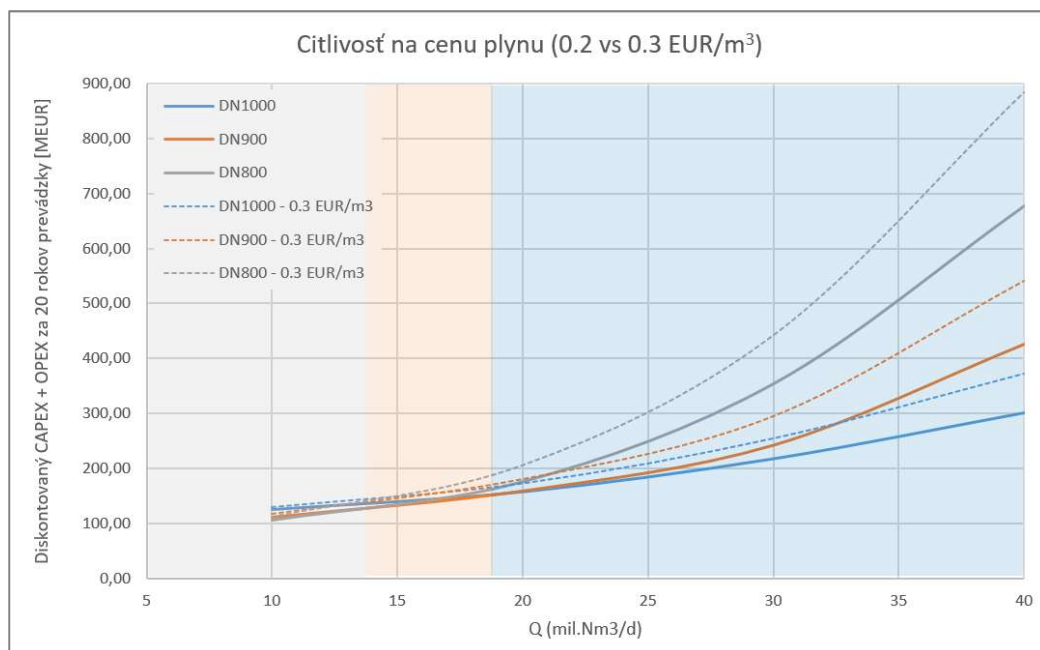
Cieľom tejto práce bolo navrhnúť vysokotlaký plynovod s čo najnižšími nákladmi za 20 rokov prevádzky, preto je potrebné zistiť celkové náklady (CAPEX + OPEX) pre všetky varianty riešených plynovodov. Porovnanie celkových nákladov je zobrazené na Obrázku 20. Priesečníky kriviek pre 3 rôzne potrubia rozdeľujú graf na 3 časti, ktoré sú farebne rozlíšené. Pre prvú časť (prietok približne do 14 mil.Nm³/d) je najvýhodnejšie investovať do plynovodu s priemerom DN800, druhú časť grafu (prietok od 14 do 18 mil.Nm³/d) tvorí oblasť, kde je ekonomicky najvýhodnejší plynovod DN900. Tretiu časť grafu tvorí oblasť, kde je najvýhodnejší plynovod DN1000.



Obrázok 20: Porovnanie nákladov za 20 rokov prevádzky

4.5.4 Citlivostná analýza

Pretože na prevádzkové náklady vo veľkej miere vplýva práve cena plynu, bola v tejto práci spravená citlivostná analýza pre prípad, že cena plynu bude vyššia, alebo naopak nižšia. V prípade, že bude plyn drahší (Obrázok 21), bude optimálne investovať do plynovodu DN1000 aj pri nižších prietokoch, teda oblasť kde je najvýhodnejší plynovod s priemerom DN1000 bude väčšia (už od približne 16,5 mil.Nm³/d). Naopak v prípade, že by cena plynu klesla, oblasť kde je najvýhodnejší plynovod DN1000 sa zmenší a aj pri väčších prietokoch sa viac oplatí investovať do plynovodov s menšími priermi.

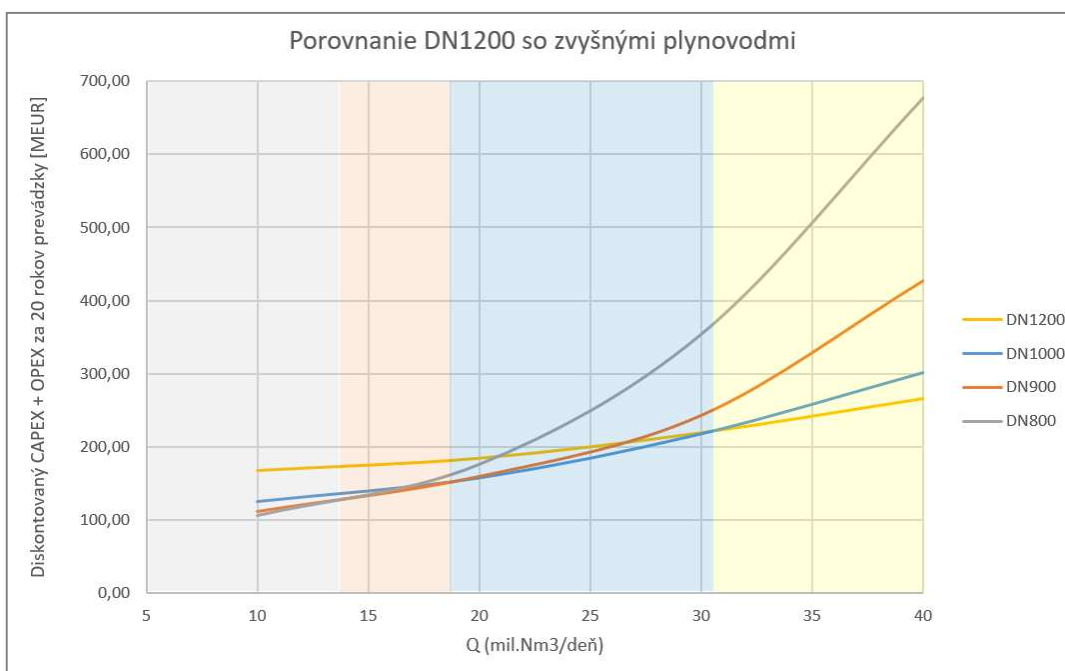


Obrázok 21: Citlivosť na cenu plynu

4.6 Možnosti pokračovania práce

V budúcej práci by bolo vhodné sa podrobnejšie zamerať na určenie investičných nákladov na výstavbu línie (plynovodu), KS a zahrnúť aj náklady na výstavbu meracích staníc. Výpočet prevádzkových nákladov by bolo možné rozšíriť o analýzu emisií CO₂ a náklady, ktoré s nimi súvisia. Prevádzkové náklady by sa dali rozšíriť taktiež o náklady na údržbu a prevádzku prepravnej siete.

V prípade, že by bol do porovnania zahrnutý aj plynovod DN1200 (Obrázok 22), jeho náklady pri nižších prietokoch by boli oveľa vyššie ako náklady zvyšných plynovodov. So zvyšujúcim sa prietokom by sa však zvyšovali len minimálne, takže pre požadovaný prietok 40 mil.Nm³/d by bol tento variant najvýhodnejší.



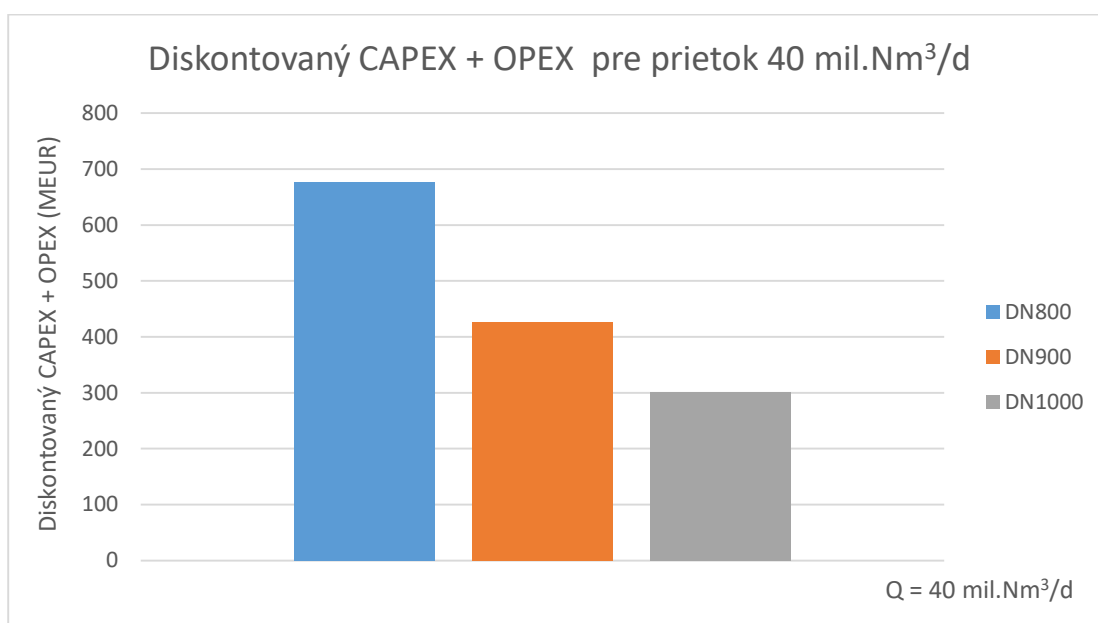
Obrázok 22: Porovnanie DN1200 so zvyšnými plynovodmi

Na základe výsledkov súčasnej práce by bolo vhodné analyzovať už len porovnanie dvoch najlepších alternatív a to DN1000 a DN1200 a finálne sa zamerať na vykonanie podrobnejšej citlivostnej analýzy na cenu plynu, emisií CO₂, diskontnú sadzbu, investičné a prevádzkové náklady v rozsahu -30 % až + 30 %.

ZÁVER

V tejto bakalárskej práci bol navrhovaný vysokotlaký plynovod. Hlavným cieľom práce bolo ekonomické porovnanie 3 variantov plynovodov rôznych priemerov (DN1000, DN900, DN800). Prvá časť práce je venovaná teoretickému úvodu do problematiky, ktorý je nevyhnutné ovládať pri riešení konkrétneho zadania práce. Druhá časť práce pozostáva z 3 častí, ktorými sú výpočet hrúbky steny potrubia, hydraulická analýza a analýza nákladov.

Hydraulické výpočty boli riešené pomocou softwaru Simone. V tejto časti práce bol určený počet kompresorových staníc, ich spotreba a potrebný výkon, na základe ktorého boli vybrané kompresory s plynovou turbínou. Analýza nákladov pozostávala z určenia investičných nákladov (CAPEX), ktoré zahŕňali cenu potrubia a cenu kompresorových staníc, a z výpočtu prevádzkových nákladov (OPEX). Celkové náklady (CAPEX + OPEX) boli pre širšie uplatnenie práce riešené pre 4 prietoky (10, 20, 30 a 40 mil. Nm³/d), pričom cieľom bolo určiť najvýhodnejší variant pre prietok 40 mil. Nm³/d (Obrázok 23).



Obrázok 23: Porovnanie celkových nákladov pre prietok Q40 za 20 rokov prevádzky

Na základe ekonomického zhodnotenia bol pre zadaný prietok 40 mil. Nm³/d navrhnutý plynovod s priemerom DN1000, ktorý má najnižšie náklady za dobu prevádzky 20 rokov.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] O zemnom plyne - SPP | váš dodávateľ elektriny a zemného plynu [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.spp.sk/sk/velki-zakaznici/zemny-plyn/o-zemnom-plyne/>
- [2] Plynárenství 1847-1997. Praha: ATYPO, 1997. ISBN 80-902378-0-0.
- [3] A, s.r.o. Čo je zemný plyn. VyhodnaEnergia.SK [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.vyhodnaenergia.sk/blog/86/plyn/co-je-zemny-plyn>
- [4] Maps | ENTSOE [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.entsog.eu/maps>
- [5] Kolektív.: Plynárenská príručka. Praha: GAS, s.r.o., 1997. ISBN 978-80-7328-112-0.
- [6] ČSN EN ISO 3183. Naftový a plynárenský průmysl - Ocelové trubky pro potrubní přepravní systémy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] EN 1594:2014. Plynárenská infrastruktúra. Plynovody na maximálny prevádzkový tlak nad 16 barov. Požiadavky na prevádzku. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 2014.
- [8] STN ISO 4200:2010. Ocelové zvárané a bezšvové rúry s hladkými koncami. Všeobecné tabuľky rozmerov a hmotností na jednotku dĺžky. Slovenský ústav technickej normalizácie, 2010.
- [9] STN EN 10253-2. Tvarovky na priváranie na tupo. Časť 2: Nelegované a legované feritické ocele s osobitnými kontrolnými požiadavkami. 2008.
- [10] STN EN 10204. Kovové výrobky. Druhy dokumentov kontroly. 2005.
- [11] Directive 2014/68/EU of the European Parliament and of the Council of 15 May 2014: on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of pressure equipment. In: . Brusel, 2014, ročník 57, L 189.
- [12] MATULA, Tomáš. Eastring: Feasibility Study: Results & Recommendations. 2018. Dostupné z: <http://ceec.sk/ppt/Matula.pdf>
- [13] EUSTREAM, a.s. Plán rozvoja slovenskej prepravnej siete na obdobie 2016 - 2025 [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.eustream.sk/files/docs/sk/PlanrozvojaSKprepravnesiete20162025.pdf>
- [14] DEMJANOVÁ, Zuzana. Optimalizácia teploty plynu na výstupe z kompresorovej stanici v plynárenskej sústave Eustream, a.s. 2015. Diplomová práca. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH.
- [15] SIMONE RESEARCH GROUP. SIMONE SOFTWARE Simulation and Optimization on Networks [počítačový program]. Ver.6.1, 2014 [cit. 2019-05-19].
- [16] software, SIMONE. Equations and methods. s.l. : SIMONE Research Group s.r.o., August 2009.

- [17] JEŽEK, J. – VÁRADIOVÁ, B. – ADAMEC, J.: MECHANIKA TEKUTIN. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-8073-126-8.
- [18] VARCHOLA, M. – KNÍŽAT, B. –TÓTH, P.: Hydraulické riešenie potrubných systémov. Košice: Viena, 2004. ISBN 80-8073-126-8.
- [19] Viscosity | PNG 520: Phase Behavior of Natural Gas and Condensate Fluids [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.e-education.psu.edu/png520/m19_p4.html
- [20] SIMONE Research Group s.r.o. Řešení pro simulace a optimalizace v plynárenském průmyslu [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.simone.eu/cesky/simone-simonesoftware.asp>
- [21] Solar Turbines | Powering the Future [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.solarturbines.com>
- [22] Výpočet nákladov na kapitál - WACC [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://www.cfo.sk/articles/vypocet-nakladov-na-kapital-wacc#.XOB0ecgzZPZ>.
- [23] Home | CEGH: Central European Gas Hub [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.cegh.at>

Zoznam Použitých Symbolov a Skratiek

Symbol	Veličina	Jednotka
v	rýchlosť prúdenia tekutiny	$m \cdot s^{-1}$
D	priemer	m
ρ	hustota	$kg \cdot m^{-3}$
μ	dynamická viskozita tekutiny	$Pa \cdot s$
k	ekvivalent drsnosti potrubia	
Re	Reynoldsovo číslo	
V_0	počiatočný objem	m^3
K	modul objemovej stlačiteľnosti	Pa
z	faktor stlačiteľnosti	
p_r	bezrozmerný redukovaný tlak	
T_r	bezrozmerná redukovaná teplota	
τ	tečné napätie	Pa
ν	kinematická viskozita	$m^2 \cdot s^{-1}$
S	prierez potrubia	m^2
c_p	merná tepelná kapacita plynu	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
T	teplota plynu	K
t	čas	s
w	rýchlosť prúdenia	$m \cdot s^{-1}$
x	dĺžkový koordinát	m
g	gravitačné zrýchlenie	$m \cdot s^{-2}$
h	geodetická (nadmorská) výška	m
Q_E	tepelný tok cez vnútornú vrstvu potrubia	$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$
a_{tr}	trecia práca	J
p	tlak	MPa
λ	súčiniteľ dĺžkových strát	
Q_m	hmotnostný prietok	$kg \cdot s^{-1}$
l	dĺžka plynovodu	m
R	univerzálna plynová konštanta	$J/(mol \cdot K)$
Q	prepravované množstvo	$mil \cdot Nm^3/d$
η	účinnosť	%
DP	návrhový tlak	bar
f_0	koeficient navrhovania	
$R_{t0,5}$	medza klzu	MPa
R_m	medza pevnosti v ťahu	MPa
T_{min}	minimálna hrúbka steny	mm
T_{vyp}	vypočítaná hrúbka steny	mm
C_2	prídavok na nepresnosť pri výrobe	mm

SKRATKA	VÝZNAM
KS	Kompresorová stanica
TU	Trasový uzáver
MS	Meracia stanica
CF	Cash flow – peňažný tok
DCF	Discounted cash flow – diskontovaný peňažný tok
WACC	Diskontná sadzba
MEUR	Milióny eur
CAPEX	Capital expenditures – investičné náklady
OPEX	Operating expenditures – prevádzkové náklady
DN	Menovitý priemer
PN	Menovitý tlak
mil.Nm ³ /d	Milióny normálnych metrov kubických za deň

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Plynovody v strednej Európe [4].....	12
Obrázok 2: Kompresorová stanica [12]	14
Obrázok 3: Meracia stanica [12]	14
Obrázok 4: Trasový uzáver [12]	15
Obrázok 5: Rýchlostný profil prúdenia v rúre kruhového prierezu	16
Obrázok 6: Moodyho diagram [14].....	17
Obrázok 7: Zjednodušená schéma navrhovaného plynovodu.....	22
Obrázok 8: Model siete vytvorený v programe Simone	24
Obrázok 9: Nastavenie systémových parametrov v programe Simone	24
Obrázok 10: Priebeh tlaku po dĺžke potrubia.....	25
Obrázok 11: Priebeh teploty po dĺžke potrubia	26
Obrázok 12: Závislosť spotreby palivového plynu na prietoku.....	26
Obrázok 13: Závislosť výkonu KS na prietoku	27
Obrázok 14: Porovnanie tlakov pre rôzne prietoky pri priemere DN800.....	27
Obrázok 15: Závislosť ceny KS na jeho výkone	28
Obrázok 16: Určovanie výkonu pri 30 °C [21].....	28
Obrázok 17: CAPEX za 1 km potrubia.....	30
Obrázok 18: Celkové investičné náklady.....	31
Obrázok 19: Závislosť prevádzkových nákladov na prietoku	32
Obrázok 20: Porovnanie nákladov za 20 rokov prevádzky	34
Obrázok 21: Citlivosť na cenu plynu	34
Obrázok 22: Porovnanie DN1200 so zvyšnými plynovodmi	35
Obrázok 23: Porovnanie celkových nákladov pre prietok Q40 za 20 rokov prevádzky	36

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Zloženie zemného plynu	11
Tabuľka 2: Zadané veličiny	22
Tabuľka 3: Rozmery potrubí	24
Tabuľka 4: Porovnanie cien kompresorov pre potrubie DN1000 (prietok Q40)	29
Tabuľka 5: CAPEX potrubia	30
Tabuľka 6: CAPEX za kompresory na jednotlivých kompresorových staniciach	31
Tabuľka 7: NPV za 20 rokov pre priemer DN1000 a prietok 40mil.Nm ³ /d	33

ZOZNAM PRÍLOH

A Výber kompresorov

A.1 DN1000

A.2 DN900

A.2.1 Kompresorová stanica 1

A.2.2 Kompresorová stanica 2

A.3 DN800

A.3.1 Kompresorová stanica 1

A.3.2 Kompresorová stanica 2

A.3.3 Kompresorová stanica 3

B Ekonomické hodnotenie

B.1 DN1000

B.2 DN900

B.3 DN800

C Elektronická príloha EXCEL

A VÝBER KOMPRESOROV

A.1 DN1000

		KS1								
Q40			Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW		3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW		3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW		21,03	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03	21,03
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW		4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
30°C výkon max 40%	MW		1,20	1,60	2,04	2,90	3,44	4,32	5,50	7,80
Počet strojov v prevádzke			8	6	5	3	3	2	2	2
Počet strojov v zálohe			2	2	2	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW		30	32	35,7	29	34,4	32,4	41,25	58,5
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW		24	24	25,5	21,75	25,8	21,6	27,5	39
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR		2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR		87,3	82,9	84,1	60,2	68,1	57,5	67,8	86,6

		KS1								
Q30			Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW		3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW		3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW		10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW		4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
30°C výkon max 40%	MW		1,20	1,60	2,04	2,90	3,44	4,32	5,50	7,80
Počet strojov v prevádzke			4	3	3	2	2	2	1	1
Počet strojov v zálohe			1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW		15	16	20,4	21,75	25,8	32,4	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW		12	12	15,3	14,5	17,2	21,6	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR		2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR		43,6	41,5	48,0	45,1	51,1	57,5	45,2	57,8

		KS1								
Q20			Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW		3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW		3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW		4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW		4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
30°C výkon max 40%	MW		1,20	1,60	2,04	2,90	3,44	4,32	5,50	7,80
Počet strojov v prevádzke			2	2	1	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe			1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW		9	12	10,2	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW		6	8	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR		2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR		26,2	31,1	24,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

		KS1								
Q10		Saturn20	Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	1,185	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	1,1	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
30°C výkon max 40%	MW	0,44	1,20	1,60	2,04	2,90	3,44	4,32	5,50	7,80
Počet strojov v prevádzke		2	1	1	1	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	3,3	6	8	10,2	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	2,2	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	3,7	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	13,02	17,5	20,7	24,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

A.2 DN900

A.2.1 Kompresorová stanica 1

		KS1							
Q40			Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW		4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW		4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW		22,25	22,25	22,25	22,25	22,25	22,25	22,25
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW		6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
30°C výkon max 40%	MW		1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke			6	5	4	3	3	2	2
Počet strojov v zálohe			2	2	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW		32	35,7	36,25	34,4	43,2	41,25	58,5
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW		24	25,5	29	25,8	32,4	27,5	39
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR		2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR		82,9	84,1	75,2	68,1	76,7	67,8	86,6

Q30				Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW			4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW			4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW			15,46	15,46	15,46	15,46	15,46	15,46	15,46
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW			6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
30°C výkon max 40%	MW			1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke				4	4	3	2	2	2	1
Počet strojov v zálohe				1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW			20	25,5	29	25,8	32,4	41,25	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW			16	20,4	21,75	17,2	21,6	27,5	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR			2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR			51,8	60,0	60,2	51,1	57,5	67,8	57,8

Q20				Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW			4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW			4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW			6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW			6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
30°C výkon max 40%	MW			1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke				2	2	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe				1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW			12	15,3	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW			8	10,2	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR			2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR			31,1	36,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

Q10		Saturn20	Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	1,185	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	1,1	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
30°C výkon max 40%	MW	0,44	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		2	1	1	1	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	3,3	6	8	10,2	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	2,2	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	3,7	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	13,0	17,5	20,7	24,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

A.2.2 Kompresorová stanica 2

		KS2								
Q40		Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250	
ISO výkon max	MW	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37	
30°C výkon max	MW	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5	
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	11,95	
30°C výkon max 40%	MW	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8	
Počet strojov v prevádzke		4	3	3	2	2	2	1	1	
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1	
Celkový inštal výkon 30°C	MW	15	16	20,4	21,75	25,8	32,4	27,5	39	
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	12	12	15,3	14,5	17,2	21,6	13,75	19,5	
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	
CAPEX	MEUR	43,6	41,5	48,0	45,1	51,1	57,5	45,2	57,8	

A.3 DN800

A.3.1 Kompresorová stanica 1

Q40				KS1						
				Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW			4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW			4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW			22,45	22,45	22,45	22,45	22,45	22,45	22,45
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW			9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
30°C výkon max 40%	MW			1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke				6	5	4	3	3	2	2
Počet strojov v zálohe				2	2	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW			32	35,7	36,25	34,4	43,2	41,25	58,5
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW			24	25,5	29	25,8	32,4	27,5	39
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR			2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR			82,9	84,1	75,2	68,1	76,7	67,8	86,6

Q30				Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW			4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW			4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW			16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW			9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
30°C výkon max 40%	MW			1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke				5	4	3	2	2	2	1
Počet strojov v zálohe				2	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW			28	25,5	29	25,8	32,4	41,25	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW			20	20,4	21,75	17,2	21,6	27,5	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR			2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR			72,6	60,0	60,2	51,1	57,5	67,8	57,8

Q20				Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW			4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW			4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW			9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW			9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
30°C výkon max 40%	MW			1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke				3	2	2	2	1	1	1
Počet strojov v zálohe				1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW			16	15,3	21,75	25,8	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW			12	10,2	14,5	17,2	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR			2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR			41,5	36,0	45,1	51,1	38,4	45,2	57,8

Q10		Saturn20	Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	1,185	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	1,1	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
30°C výkon max 40%	MW	0,44	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		2	1	1	1	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	3,3	6	8	10,2	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	2,2	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	3,7	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	13,0	17,5	20,7	24,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

A.3.2 Kompresorová stanica 2

		KS2							
Q40		Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
30°C výkon max 40%	MW	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		7	5	4	3	3	2	2	2
Počet strojov v zálohe		2	2	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	27	28	25,5	29	34,4	32,4	41,25	58,5
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	21	20	20,4	21,75	25,8	21,6	27,5	39
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	78,5	72,6	60,0	60,2	68,1	57,5	67,8	86,6

Q30		Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
30°C výkon max 40%	MW	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		3	2	2	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	12	12	15,3	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	9	8	10,2	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	34,9	31,1	36,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

A.3.3 Kompresorová stanice 3

		KS3							
Q40		Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13	19,13
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
30°C výkon max 40%	MW	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		7	5	4	3	3	2	2	1
Počet strojov v zálohe		2	2	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	27	28	25,5	29	34,4	32,4	41,25	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	21	20	20,4	21,75	25,8	21,6	27,5	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	78,5	72,6	60,0	60,2	68,1	57,5	67,8	57,8

Q40		Saturn20	Centaur40	Centaur50	Taurus60	Taurus70	Mars90	Mars100	Titan130	Titan250
ISO výkon max	MW	1,185	3,5	4,57	5,74	8,14	9,86	11,86	15,29	22,37
30°C výkon max	MW	1,1	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
Požadovaný max výkon v prevádzke	MW	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
Požadovaný min výkon v prevádzke	MW	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
30°C výkon max 40%	MW	0,44	1,2	1,6	2,04	2,9	3,44	4,32	5,5	7,8
Počet strojov v prevádzke		3	1	1	1	1	1	1	1	1
Počet strojov v zálohe		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celkový inštal výkon 30°C	MW	4,4	6	8	10,2	14,5	17,2	21,6	27,5	39
Inštalovaný výkon v prevádzke 30°C	MW	3,3	3	4	5,1	7,25	8,6	10,8	13,75	19,5
CAPEX za 1MW inštalovaného výkonu	MEUR	3,7	2,5	2,3	2,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3
CAPEX	MEUR	17,4	17,5	20,7	24,0	30,1	34,0	38,4	45,2	57,8

B EKONOMICKÉ HODNOTENIE

B.1 DN1000

	Jednotky	Výstavba	Prevádzka				
Q40		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubie	MEUR	102,68997					
Kompresorová stanica	MEUR	57,54					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
CF: Cash Flow	MEUR	160,23	12,29	12,29	12,29	12,29	12,29
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	160,23	11,59	9,18	6,86	5,13	3,83
NPV: Net Present Value	MEUR	160,23	171,82	212,00	250,68	279,59	301,19
NPV	MEUR	301,2					

		Výstavba	Prevádzka				
Q30		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubie	MEUR	102,68997					
Kompresorová stanica	MEUR	41,46					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
CF: Cash Flow	MEUR	144,15	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	144,15	6,02	4,77	3,56	2,66	1,99
NPV: Net Present Value	MEUR	144,15	150,17	171,03	191,12	206,13	217,35
NPV	MEUR	217,4					

		Výstavba	Prevádzka				
Q20		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubie	MEUR	102,68997					
Kompresorová stanica	MEUR	24,01					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
CF: Cash Flow	MEUR	126,70	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	126,70	2,50	1,98	1,48	1,10	0,83
NPV: Net Present Value	MEUR	126,70	129,20	137,85	146,18	152,41	157,06
NPV	MEUR	157,1					

		Výstavba	Prevádzka				
Q10		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubie	MEUR	102,68997					
Kompresorová stanica	MEUR	13,02					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
CF: Cash Flow	MEUR	115,71	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	115,71	0,74	0,59	0,44	0,33	0,24
NPV: Net Present Value	MEUR	115,71	116,44	119,00	121,47	123,31	124,69
NPV	MEUR	124,7					

B.2 DN900

	Jednotky	Výstavba	Prevádzka				
Q40		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	88,344336					
Kompresorová stanica	MEUR	109,24					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
CF: Cash Flow	MEUR	197,59	19,99	19,99	19,99	19,99	19,99
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	197,59	18,86	14,94	11,16	8,34	6,23
NPV: Net Present Value	MEUR	197,59	216,45	281,81	344,74	391,77	426,92
NPV	MEUR	426,9					

		Výstavba	Prevádzka				
Q30		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	88,344336					
Kompresorová stanica	MEUR	51,07					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		9,04	9,04	9,04	9,04	9,04
CF: Cash Flow	MEUR	139,42	9,04	9,04	9,04	9,04	9,04
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	139,42	8,53	6,75	5,05	3,77	2,82
NPV: Net Present Value	MEUR	139,42	147,94	177,49	205,93	227,19	243,07
NPV	MEUR	243,1					

		Výstavba	Prevádzka				
Q20		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	88,344336					
Kompresorová stanica	MEUR	30,09					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
CF: Cash Flow	MEUR	118,43	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	118,43	3,39	2,69	2,01	1,50	1,12
NPV: Net Present Value	MEUR	118,43	121,83	133,59	144,91	153,38	159,70
NPV	MEUR	159,7					

		Výstavba	Prevádzka				
Q10		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	88,344336					
Kompresorová stanica	MEUR	13,02					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
CF: Cash Flow	MEUR	101,36	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	101,36	0,86	0,68	0,51	0,38	0,28
NPV: Net Present Value	MEUR	101,36	102,22	105,21	108,08	110,23	111,84
NPV	MEUR	111,8					

B.3 DN800

	Jednotky	Výstavba	Prevádzka				
Q40		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	79,36541					
Kompresorová stanica	MEUR	185,36					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		35,97	35,97	35,97	35,97	35,97
CF: Cash Flow	MEUR	264,72	35,97	35,97	35,97	35,97	35,97
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	264,72	33,94	26,88	20,09	15,01	11,22
NPV: Net Present Value	MEUR	264,72	298,66	416,25	529,48	614,09	677,31
NPV	MEUR	677,3					

		Výstavba	Prevádzka				
Q30		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	79,36541					
Kompresorová stanica	MEUR	98,51					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		15,34	15,34	15,34	15,34	15,34
CF: Cash Flow	MEUR	177,88	15,34	15,34	15,34	15,34	15,34
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	177,88	14,48	11,47	8,57	6,40	4,78
NPV: Net Present Value	MEUR	177,88	192,35	242,51	290,81	326,90	353,87
NPV	MEUR	353,9					

		Výstavba	Prevádzka				
Q20		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	79,36541					
Kompresorová stanica	MEUR	36,02					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		5,27	5,27	5,27	5,27	5,27
CF: Cash Flow	MEUR	115,39	5,27	5,27	5,27	5,27	5,27
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	115,39	4,97	3,94	2,94	2,20	1,64
NPV: Net Present Value	MEUR	115,39	120,36	137,58	154,16	166,55	175,81
NPV	MEUR	175,8					

		Výstavba	Prevádzka				
Q10		2020	2021	2025	2030	2035	2040
		0	1	5	10	15	20
Diskontný faktor		1	0,94	0,75	0,56	0,42	0,31
CAPEX							
Potrubié	MEUR	79,36541					
Kompresorová stanica	MEUR	13,02					
OPEX							
Spotrebovaný plyn na prevádzku	MEUR		1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
CF: Cash Flow	MEUR	92,38	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
DCF: Discounted Cash Flow	MEUR	92,38	1,10	0,87	0,65	0,49	0,36
NPV: Net Present Value	MEUR	92,38	93,48	97,31	100,99	103,74	105,79
NPV	MEUR	105,8					